



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

RIKU HUHTA

AUTOMAATTISTEN PIKKUBUSSIEN HYVÄKSYTTÄVYYS JA KUSTANNUS-  
RAKENNE OSANA JOUKKOLIIKENNETTÄ

Diplomityö

Tarkastaja: assistant professori  
Heikki Liimatainen

## TIIVISTELMÄ

RIKU HUHTA, Automaattisten pikkubussien hyväksyttävyys ja kustannusrakenne osana joukkoliikennettä  
Diplomityö, 97 sivua, 2 liitesivua  
Helmikuu 2017  
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Liikenne- ja kuljetusjärjestelmät  
Tarkastaja: Assistant Professor Heikki Liimatainen

Avainsanat: automaattinen bussi, joukkoliikenteen kustannusrakenne, robottibussi, viimeinen- ja ensimmäinen kilometri, joukkoliikenteen palvelutaso

Tämä diplomityö on tehty osana SOHJOA-projektia, jonka tarkoituksena on testata automaattista liikennettä 6Aika-kaupungeissa. Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää, millainen on automaattisten bussien kustannusrakenne ja toimintamalli osana joukkoliikennettä. Alatavoitteena oli selvittää kokeilussa käytettyjen robottibussien vaikutuksia joukkoliikenteen palvelutasoon sekä selvittää mahdollisia käyttökohteita pohjautuen kolmeen kokeilualueen joukkoliikennejärjestelmään. Tutkimus koostuu kirjallisuustutkimuksesta, robottibussikokeiluista saatujen kokemusten analysoinnista, asiantuntijahaastattelusta ja -työpajasta sekä käyttäjäkyselyistä, joiden avulla tutkimuskysymyksiin haettiin vastauksia.

Joukkoliikenteen automaation tavoitteena on kasvattaa joukkoliikenteen kulkutapaosuutta tarjoamalla paremman joukkoliikenteen palvelutason ja tekemällä bussiliikenteestä entistäkin ympäristöystävällisempää ja tehokkaampaa. Automaattisilla busseilla tähän tavoitteeseen voidaan päästä. Parhaimmillaan robottibussit voisivat tuoda uuden ratkaisun viimeisen kilometrin ongelmaan, kilpailla kasvaneella palvelutasolla henkilöauto liikenteen kanssa sekä kasvattaa ihmisten vapautta valita liikkumismuotonsa. Joukkoliikenteen palvelutason parantamista edesauttaa robottibussien kustannustehokkuus. Säästöjä saadaan erityisesti kuljettajakustannuksissa, mutta täyssähköiset ja ajonopeutensa optimoivat robottibussit säästävät myös kilometrikustannuksissa. Tulevaisuudessa robottipikkubussien hankintahinta tulee myös laskemaan sensoreiden massatuotannon yleistyessä.

Toimintamalliltaan robottibusseja hyödynnetään jatkossa lisäarvopalvelumallina yksittäisissä kohteissa, mistä siirrytään teknologian kehittyessä tilaaja-tuottajamallin mukaiseen laajempaan käyttöön. Pitemmälle tulevaisuutta katsottaessa robottibussit tulevat todennäköisesti olemaan osa kokonaisvaltaisempaa Mobility as a Service -mallia.

Tutkimuksen tuloksena voidaan todeta robottibusseilla olevan aito mahdollisuus parantaa joukkoliikenteen tehokkuutta ja toimintaa. Käyttäjät ovat kyselyiden perusteella valmiita hyödyntämään tällaista viimeisen kilometrin palvelua sekä maksamaan siitä ylimääräistä tavallisen joukkoliikenteen lisäksi. Haasteena ovat kuitenkin vielä vaikeat sääolosuhteet, muuttuvat ympäristöt sekä anturiteknologian herkkyyys. Tämä työ antaa keskeistä tietoa robottibussien vaikutuspotentiaalista ja alustavia lukuja sekä suuntaviivoja päättäjille ja jatkotutkimuksille.

## ABSTRACT

**RIKU HUHTA:** The acceptability and cost structure of automated minibuses as a part of public transport

Master of Science Thesis, 97 pages, 2 Appendix pages

February 2017

Master's Degree Programme in Civil engineering

Major: Transportation systems

Examiner: Assistant Professor Heikki Liimatainen

Keywords: automated bus, public transport cost structure, transport automation, robot bus, first- and last mile, public transport quality

This Master's thesis is written as a part of SOHJOA-project that aims to test automated transport in 6Aika-cities. The research's main goal is to look into the cost structure and operations model of automated minibuses. The secondary objective is to find out the effects of the robot busses on public transport's quality of service and to look into the areas of application based on the three different pilot areas public transport systems. The research consists of a literature review, analysis of the experience from the robot bus pilots, expert interviews and -workshop together with user questionnaires.

The goal of public road transport automation is to increase the modal share of public transportation by offering a better quality of service and by creating a more ecofriendly and efficient bus service. This goal can be achieved with automated minibuses. Robot busses are a new solution to the challenging last mile problem of public transport: with a more comprehensive public transport network and increased quality of service public transport can compete with private cars and increase the freedom of choice in people's daily mobility. The cost efficiency of automated busses is a key attractor in increasing the quality of service in public transportation. Savings are mainly made with the decreased driver costs though the fully electric and optimized buses are also cheaper in their kilometer-based costs. In the future, the cost of robot busses will also decrease with the mass production of sensors becoming more common.

The operations model of robot busses will firstly be a value added service used in single destinations. After this, they will be moved under public authority that will probably operate the busses with a more traditional operations model known as purchaser-producer-model. Looking further in the future, the robot busses will most likely be a part of a complete Mobility as a Service-model.

The findings of this research indicate that robot buses have a genuine opportunity to increase the efficiency and operation of public transport. According to the user surveys, passengers are ready to use a last mile service as such and even pay extra for its use. Nevertheless, challenges with weather conditions, changing environment and sensor sensitiveness continue to persist. This thesis provides core information about the robot busses potential effects and offers preliminary figures and guidelines for policymakers and further studies.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty liikenteen tutkimuskeskus Vernelle osana rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkintoa. SOHJOA-projektin mukana olen päässyt kohtaamaan monia haastavia ja mielenkiintoisia tilanteita, jotka ovat lisänneet merkittävästi ymmärrystäni liikenteen automaatiosta. Robottibussit todellakin tuottivat ”pöhinää” ympärilleen, ja tässä pöhinässä oli ilo olla mukana.

Haluaisin kiittää viimeisestä puolesta vuodesta erityisesti henkistä mentoriani Lasse Nykästä, joka alun perin otti minut mukaan projektiin ja tutustutti sen saloihin. Lassen ohjeilla ja vinkeillä diplomityö lähti mainiosti käyntiin ja tahti on ollut siitä lähtien tasaisen varmaa. Suuri kiitos kuuluu myös assistant professori Heikki Liimataiselle, jonka positiiviset ja rakentavat kommentit auttoivat huomattavasti diplomityön edetessä.

Kiitos kuuluu myös mahtavalle SOHJOA-tiimille, johon kuuluvat niin Metropolian väki kuin TTY:n operaattorit. Ilman teidän panostustanne, kommenttejanne ja havainnointianne työ olisi ollut mahdoton toteuttaa.

Diplomityön kirjoittaminen tapahtui innostavassa ja huumoria tirs kuvassa työporukassa, mistä haluan kiittää kaikkia Vernen työkavereitani. Kiitokset erityisesti tutkija Riku Virille, jonka ohjelmistotaitoja pääsin koettelemaan useaan otteeseen.

Lopuksi haluan kiittää perhettäni ja kavereitani tuesta diplomityöprosessin aikana.

Tampereella, 28.2.2017

Riku Huhta

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Tutkimuksen tausta .....	2
1.2	Tutkimuksen tavoitteet, rajaus ja tavoitteet.....	2
1.3	Tutkimusmenetelmät.....	5
1.4	Tutkimuksen rakenne .....	6
2.	AUTOMAATTINEN JOUKKOLIIKENNE .....	8
2.1	Joukkoliikenne .....	8
2.2	Joukkoliikenteen last mile .....	11
2.3	Automaatio joukkoliikenteessä .....	12
2.4	SOHJOA-hanke.....	19
2.5	Vastaavanlaiset pilottiprojektit maailmalla.....	21
3.	KOKEILUALUEET JA NIIDEN AUTOMAATTISEN JOUKKOLIIKENTEEN VAIKUTUSPOTENTIAALI .....	24
3.1	Kokeilualue: Hervanta.....	25
3.1.1	Nykytila ja suunnitelman mukainen joukkoliikennejärjestelmä ....	25
3.1.2	Robottibussikokeilu .....	27
3.1.3	Robottibussien vaikutuspotentiaali .....	28
3.2	Espoo, Otaniemi .....	36
3.2.1	Nykytila ja suunnitelman mukainen joukkoliikennejärjestelmä ....	36
3.2.2	Robottibussikokeilu .....	37
3.2.3	Robottibussien vaikutuspotentiaali .....	39
3.3	Helsinki, Hernesaari .....	41
3.3.1	Nykytila ja suunnitelman mukainen joukkoliikennejärjestelmä ....	41
3.3.2	Robottibussikokeilu .....	42
3.3.3	Robottibussien vaikutuspotentiaali .....	44
3.4	Koonti vaikutuksista.....	46
4.	KÄYTTÄJÄKOKEMUS AUTOMAATTISESSA PIKKUBUSSISSA .....	49
4.1	Liikenteen automaation yleinen hyväksyttävyys .....	49
4.2	Käyttäjäkyselyt robottibusseista.....	50
4.2.1	Vantaan asuntomessut.....	51
4.2.2	Hernesaari & Otaniemi .....	52
4.2.3	Hervanta .....	53
5.	AUTOMAATTISTEN PIKKUBUSSIEN KANNATTAVUUS -CASE TAMPERE 62	
5.1	Bussiliikenteen nykyiset toimintamallit.....	62
5.2	Kustannusten vertailu liityntälinjalla .....	67
5.3	Robottibussien toimintamallien vertailu .....	77
5.3.1	MaaS-malli.....	78
5.3.2	Tilaaaja-tuottajamalli .....	79
5.3.3	Joukkoliikenteen lisäarvopalvelu –malli.....	81

5.3.4	Päätelmät .....	82
6.	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSKOHTEET .....	84
6.1	Yhteenveto .....	84
6.2	Tutkimuksen arviointi .....	87
6.3	Jatkotutkimuskohteet.....	88
	LÄHDELUETTELO .....	90

LIITE A: HERVANNAN KÄYTTÄJÄKYSELYN KYSYMYSLOMAKE

LIITE B: OTANIEMEN HAASTATTELUKYSYMYKSET

## LYHENTEET, NIMET JA KÄSITTEET

Termi englanniksi	Suomennos	Merkitys
Automatic vehicle	Automaattiajoneuvo, automaattinen ajo- neuvo	Ajoneuvo, joka kykenee ainakin osin suoriutumaan ajotehtävästä ilman kuljettajaa.
Autonomous vehicle (self-driving vehicle, driverless vehicle)	Autonominen ajoneuvo (itsestään ajava ajoneuvo, kuljet- tajan ajoneuvo)	Automaattiajoneuvo, joka kykenee suoriutumaan ajotehtävästä ilman kuljettajaa ja ilman yhteyttä muihin ajoneuvoihin tai infrastruktuuriin.
Connected vehicle	Verkottunut ajoneuvo	Ajoneuvo, joka on langattomasti yhteydessä toisiin ajoneuvoihin ja/tai infrastruktuuriin.
First- and last mile (passenger transport)	Ensimmäinen ja viimeinen kilometri (henkilöliikenne)	Ihmisen matka lähtökohteesta joukkoliikennepysäkille tai joukkoliikennepysäkiltä loppukohteen.
Feeder transport	Liityntäliikenne (syöttöliikenne)	Laajemmalla alueella matkustajien kerääminen joukkoliikenteellä suuremman kapasiteetin runkolinjoille.

# 1. JOHDANTO

Tuntemamme liikenne lähestyy vääjäämättä kohti murrosta. Murros ei koske vain osaa liikennejärjestelmästä, vaan on kokonaisvaltainen. Monet liikenteen toimialat tulevat muuttuman yhdessä kuluttajien tottumusten kanssa, työpaikkoja menetetään, integraatio lisääntyy ja liikkuminen itsessään saa uuden merkityksen. Toisaalta meille muodostuu täysin uudenlaisia, ennalta tuntemattomia toimintamalleja, jotka mahdollistuvat uusien teknologioiden ja kysynnän pohjalta. Muodostuu uusia työpaikkoja vanhojen tilalle ja uudet toimijat tulevat täydentämään perinteisiä toimintoja. Liikenne kokonaisuutena etenee kohti palvelupohjaista ratkaisua, jossa käyttäjille voidaan tarjota saumaton liikkuminen vain yhden klikkauksen vaivalla (Liikennevirasto 2017). Muutos on suuri ja edellyttää merkittäviä tekoja liikennesektorin päättäjistä aina liikkujiin eli loppukäyttäjiin asti. Kehitys etenee askel kerrallaan, ja iso askel liikenteelle on liikenteen automaation potentiaalin ymmärtäminen.

Älykkäiden liikennejärjestelmien ja itseohjautuvien ajoneuvojen arvioidaan jatkossa tarjoavan jopa 3 400 miljardin euron vuotuiset globaalit markkinat (Sitra 2015). Tämä tieto yhdessä tiukkenevan globaalin ilmastopolitiikan kanssa kannustaa – tai suorastaan pakottaa – kehittämään täysin uusia toimintamalleja ja ratkaisuja liikennesektorille. Liikenteen automaatio onkin tällä hetkellä yksi merkittävimmistä kokeilu- ja innovointikohteista, eikä kehitys kohdistu vain yksityisautoiluun. Taksiliikenteessä Uber (2016) toi robottiautonsa julkiseen käyttöön Pittsburghin kaduille vain kuukausi sen jälkeen, kun Singaporessa aloitettiin robottitaksien koekäyttö (nuTonomy 2016). Myös Google ja Fiat Chrysler ovat vastikään aloittaneet yhteistyön tuodakseen automaattisia autoja julkisen liikenteen piiriin (Etherington, D. & Kolodny, L.). Vastaavasti Mercedes Benz kyyditsee ihmisiä Amsterdamissa täysikokoisella robottibussillaan (Wuttke 2016) SOHJOA-projektin keskittyessä pienemmän kapasiteetin liityntäliikenteen ratkaisuihin (Sohjoa 2017). Voidaan todeta, että liikenteen murros on jo täydessä vauhdissa.

Tässä työssä tarkastellaan uutta joukkoliikenteen muotoa ja sen sijoittumista nykyiseen joukkoliikennejärjestelmään. Tarkastelu keskittyy SOHJOA-pilottiprojektin automaattisiin pikkubusseihin ja kokeiluista saatuihin kokemuksiin. Tehokas ja kestävä liikennejärjestelmä vaatii joukkoliikenteen palvelutason kasvattamista ja henkilöautoilun kulkupaosuuden pienentämistä (European Commission 2007, s. 6 & 13). Tähän pyrittäessä joukkoliikenteestä tulee tehdä houkuttelevampaa ja kustannustehokkaampaa, ja juuri automaatiolla voidaan vaikuttaa merkittävästi joukkoliikenteen saavutettavuuteen sekä kustannusrakenteeseen. Automaatio yhdessä sähköistymisen myötä omaa potentiaalin tehdä jo ennestään ympäristöystävällisestä joukkoliikenteestä entistäkin kestävämmän, tehokamman ja ennen kaikkea käyttäjäystävällisemmän vaihtoehdon liikkumiselle.



## 1.1 Tutkimuksen tausta

Globaalit haasteet ilmastonmuutoksen hidastamiseksi koskevat keskeisesti liikenne- ja kuljetusjärjestelmiä. Nykyisellään liikenteen päästöt kattavat neljänneksen koko Euroopan kasvihuonepäästöistä, ja tästä määrästä tieliikenteen päästöjen osuus on yli 70%. Euroopan komissio on päättänyt Brysselissä 20.7.2016 uudesta, vähäpäästöistä liikkuvuutta koskevasta eurooppalaisesta strategiasta. Paperissa linjataan, että vuoteen 2050 mennessä liikenteen päästöjä tulee vähentää 60 prosenttia vuoden 1990 tasosta. Keskeisinä tekijöinä päästöjen vähentämisessä ovat digitaalisten liikkumiskäytäntöjen, uusien teknologioiden, liikenteen hinnoittelun ja multimodaalisuuden edistäminen. Näitä hyödyntäen viimeisen kilometrin ongelma tulee hoitaa päästöttömästi ja pienempien sekä kevyempien kulkuneuvojen käyttöön tulee kannustaa. Kokonaisuutena uudet liikkumismuodot ja informaatioteknologia mahdollistavat sulavat vaihdot kulkumuotojen välillä, mikä on edellytys tehokkaalle, kestäväälle ja multimodaaliselle liikennejärjestelmälle. (European Commission 2016, ss. 2-4)

Suomessa Juha Sipilän hallitus on Euroopan Unionin linjauksia mukaillen aloittanut liikenteen muutoksen, johon liittyy olennaisesti liikenne- ja viestintäministeri Anne Bernerin organisoima liikennekaari osana hallituksen kärkihanketta, jossa rakennetaan digitaalisen liiketoiminnan kasvuympäristö. Liikennekaaren tarkoituksena on edistää uusien teknologioiden, digitalisaation ja uusien liiketoimintakonseptien käyttöönottoa mahdollistamalla kokeilut ja yhtenäistämällä normeja. Suomen kilpailukyky rakentuu ennakkoluvottomalle uudistamiselle kokeiluja ja digitalisaation tarjoamia mahdollisuuksia hyödyntäen. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2016)

Liikenne- ja viestintäministeriö puolestaan on asettanut tavoitteeksi, että Suomi on vuonna 2025 yksi maailman eturivin toimijoita liikenteen älykkään automaation tasolla sekä Suomessa luodaan runsaasti liikenteen älykkääseen automaatioon perustuvia palveluita. Suomen tieliikennelaki mahdollistaa pitkälle menevät automaatiokokeilut, ja tämän tiedon nojalla joukkoliikenteen palveluita pyritään tehostamaan automaattijoukkoliikenteen avulla. Liikkeelle lähdetään helpoista reiteistä ja alhaista nopeuksista. Hallitusohjelman mukaisesti kokeilutoimintaan kannustetaan laajasti, riskejä tulee ottaa sekä virheet hyväksyä. Muutos tulee vain tekemällä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2015)

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet, rajaus ja tavoitteet

Tämä työ on tehty osana 6Aika-rahoitteista SOHJOA-hanketta, jossa tutkitaan automaattista last mile -liikennettä osana julkista liikennettä. Tampereen teknillisen yliopiston liikenteen tutkimuskeskus Verne tuotti hankkeen yhteydessä tämän diplomityön, joka liittyy hankkeessa Vernen vastualueeseen tutkia automaattisen liikenteen vaikutuksia nykyiseen liikennejärjestelmään ja erityisesti julkiseen liikenteeseen. Automaattisen liikenteen kokeileminen Suomessa oikean liikenteen seassa on merkittävä tutkimusaskel kohti

turvallisempaa, tehokkaampaa ja ympäristöystävällisempää liikennejärjestelmää. Edistysellinen ajattelu ja automaattisen liikenteen kokeilut mahdollistavat Suomen kilpailukyvyyn jo lähitulevaisuuden älyliikennemarkkinoilla.

Tutkimuksen tavoitteena on luoda mahdollisimman selkeä näkemys automaattisten pikubussien vaikutuksista julkisen liikenteen kustannuksiin, toimintamalliin sekä joukkoliikenteen palvelutasoon. Tarkoitus on myös saada tietoa automaattisesta last mile -liikenteestä yleisesti sekä selvittää käyttäjien halukkuutta ottaa uusi automaattinen liikennepalvelu käyttöönsä. Tutkimuksessa käsitellään kolmea eri kokeilualuetta, joissa robottibussit liikennöivät vuoden 2016 syksyllä. Kokeilualueista Hervannalla on hieman suurempi painoarvo verrattuna Hernesaareen ja Otaniemeen. Vaikutuspotentiaalin arvioinnissa oleellista on tunnistaa nykyisten alueiden ominaispiirteet ja selvittää joukkoliikenteen toiminta, koostumus sekä keskeiset ongelmat. Tutkimusongelmaksi määritetään työn tavoitteiden pohjalta automaattisten bussien toimintamalli, kustannusrakenne sekä rooli julkisessa liikenteessä.

Tutkimusongelman ja tutkimuksen tavoitteiden pohjalta tutkimuksen pääkysymykseksi määrittyy: *Millaisella toimintamallilla ja kustannusrakenteella automaattisilla busseilla voidaan operoida osana julkista liikennettä?* Pääkysymyksen lisäksi työssä vastataan seuraaviin alakysymyksiin, jotka täydentävät vastausta pääkysymykseen:

- *Millainen on kokeilualueiden (Hervanta, Hernesaari, Otaniemi) nykyisten suunnitelmien mukainen joukkoliikenteen koostumus?*
- *Millainen on automaattisten bussien vaikutuspotentiaali joukkoliikenteen palvelutasoon kolmea kokeilualuetta tarkasteltaessa?*
- *Millainen on matkustajien käyttökokemus automaattisessa bussissa ja miten he voisivat kuvitella käyttävänsä tällaista uutta palvelua?*

Työ rajataan koskemaan joukkoliikennejärjestelmän viimeistä kilometriä ja tähän liittyvää last mile -liikennöintiä robottibusseilla. Tarkastelussa tutkitaan robottibussien yksikkökustannuksia yhdellä Hervannan vuoden 2021 raitiotien liityntälinjalla. Robottibussien toimintamallin selvityksessä tarkastelu rajataan asiantuntijatyöpajan tulosten analysointiin. Vaikutuspotentiaalia joukkoliikenteen palvelutasoon käsitellään vain kolmeen projektin kokeilualueeseen liittyen. Vastaavasti käyttäjäkyselyissä keskitytään robottibusseissa matkustaneiden ihmisten käyttötarpeen ja käyttökynnyksen selvittämiseen. Kokonaisuutta katsottaessa robottibussien vaikutukset joukkoliikenteen palvelutasoon, kustannuksiin ja käyttäjiin ovat työn keskiössä.

Tutkimuksessa on tarkasteltu robottibusseja monista eri näkökulmista, jotta saataisiin kattava perustieto aihepiiristä ja siihen liittyvistä teemoista. Aiheen uutuudesta johtuen tämä on hyvin perusteltu lähestymistapa. Jatkotutkimusta tehdessä esimerkiksi käyttäjänäkökulmasta voidaan tehdä vähintään diplomityön laajuinen tutkimus. Työn tarkoitus onkin

osaltaan kartoittaa aihepiirin keskeisimpiä ominaisuuksia jatkoprosessointia varten. Keskeisimpiä indikaattoreita ovat käyttäjänäkökulma, kustannusrakenne ja vaikutukset joukkoliikenteen palvelutasoon.

Tutkimusongelma on siis automaattisten bussien toimintamalli, kustannusrakenne sekä rooli julkisessa liikenteessä. Tätä tutkimusongelmaa lähdetään tarkastelemaan epistemologian näkökulmasta pragmaattisesti: ilmiötä käsitellään observoimalla ja tulkitsemalla subjektiivisia tarkoituksia sekä hyödyntämällä käytännönläheistä soveltavaa tutkimusta, jossa asian tulkitsemiseksi hyödynnetään useita eri näkökulmia (Saunders et al. 2009, s. 119). Käytännönläheisen näkökulman avulla saadaan tutkittavasta aiheesta mahdollisimman konkreettinen. Tutkimusstrategialtaan työ on pääosin tapaustutkimusta, mutta luvussa neljä hyödynnetään survey-tutkimusta ja pääongelmaa käsiteltäessä myös case-tutkimusta.

Tutkimusstrategiaan liittyy olennaisesti tutkimuksen tarkoitus eli tutkimusnäkökulma. Tässä työssä yhdistyvät kolme eri tapaa. Kartoittavassa tavassa selvitetään vähän tunnettua ilmiötä, kerätään kokemuksia ja etsitään uusia näkökulmia. Tässä näkökulmassa hyödynnetään kvalitatiivisia menetelmiä ja tapaustutkimusta, kun lähdetään selvittämään robottibussien käyttötarkoitusta ja roolia osana joukkoliikenteen liityntäliikennettä. Vastavasti kuvailevaa tapaa käytetään, kun halutaan dokumentoida ilmiöistä keskeisiä piirteitä. Tässä työssä kuvailevaa näkökulmaa käytetään selvittämään robottibussien vaikutuksia joukkoliikenteen palvelutasoon sekä tekemällä survey-tutkimusta. Koska työ on vahvasti tulevaisuuteen tähtäävä, hyödynnetään siinä myös ennustavaa näkökulmaa, jonka avulla pyritään projisoimaan nykyisistä kokeiluista saatuja tietoja vuoteen 2021 selvittäessä muun muassa robottibussien toimintamallia. Ennustavassa tavassa on tyypillistä selvittää mitä on tuloksena jostain ilmiöstä ja kehen vaikutukset ulottuvat. (Hirsjärvi et al. 2009, ss. 138-139) Luvussa 1.2 esitellyt tutkimusvalinnat ja luvussa 1.3 esiteltävät tutkimusmenetelmät on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1. Tutkimusvalinnat.**

<b>Käsite</b>	<b>Valinta</b>
Filosofia	<i>Epistemologia</i>
Lähestymistapa	<i>Pragmaattinen</i>
Strategia	<i>Tapaustutkimus, survey-tutkimus &amp; case-tutkimus</i>
Näkökulma	<i>Kartoittava, kuvaileva &amp; ennustava</i>
Tiedonkeruu	<i>Kyselyt, haastattelut, kirjallisuustutkimus, havainnointi &amp; asiantuntijahaastattelut</i>
Tiedonanalysointi	<i>Realistinen sisällönanalyysi &amp; kuvaileva tilastanalyysi</i>

### 1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmä on Hirsjärvi et al. (2009, s. 183) mukaan sääntö, jonka avulla tiedeessä tavoitellaan ja etsitään tietoa tai pyritään ratkaisemaan käytännön ongelma. Tutkimusmenetelmät jaetaan tiedonkeruutapoihin sekä tiedonanalysointitapoihin (Hirsjärvi et al. 2009, s. 224). Tässä työssä tiedonkeruutapoina on hyödynnetty kysely- ja haastattelututkimusta, kirjallisuustutkimusta, havainnointia sekä asiantuntijahaastatteluita. Tiedonanalysointitavoiksi valittiin realistinen sisällönanalyysi sekä kuvaileva tilastanalyysi (Tampereen yliopisto 2017).

Robottibusseihin liittyvä kirjallisuus on hyvin vähäistä, joten tietoa on pyritty keräämään pilottiprojektin kokeilujen avulla, havainnoimalla ihmisten käyttäytymistä sekä keräämällä vastauksia kyselyihin ja haastatteluihin. Tutkimuksen filosofisen näkökulman mukaisesti tulevaisuuskatseista aihetta lähestytään mahdollisimman käytännönläheisesti hyödyntäen useita eri tutkimusmenetelmiä.

Tutkimuksen alussa käsitellään joukkoliikenteen ja joukkoliikenteen automaation teoriaa. Tieto lukuun kaksi kerättiin valtaosin kattavalla kirjallisuuskatsauksella. Kirjallisuuden etsimisessä käytettiin hyväksi hakupalveluita Google, Google Scholar sekä Tampereen teknillisen yliopiston Andor. Keskeisimmiksi hakusanoiksi valikoituivat automaattinen joukkoliikenne, itsestään ajavat bussit, automaation tasot ja joukkoliikenteen palvelutaso sekä edellä mainittujen englanninkieliset vastineet. Lisäksi teoriaosuudessa hyödynnettiin SOHJOA-projektiin liittyvää materiaalia.

Robottibussien vaikutuspotentiaalia joukkoliikenteen palvelutasoon tarkasteltaessa hyödynnettiin empiiristä eli kokeellista tutkimusta. Luvussa tarkasteltiin robottibussien ope-  
rintia kolmella eri kokeilualueella havainnoiden samalla, miten bussit toimivat kysei-  
sissä ympäristöissä. Saatuja kvantitatiivisia (esim. matka-aika) ja kvalitatiivisia (esim.  
sosiaalinen tasapuolisuus) havaintoja käytettiin arvioimaan robottibussien vaikutuksia  
palvelutasoon. Arviointi oli pääosin laadullista ja perustui havaintoihin sekä projektipääl-  
likkö Harri Santamalan ja robottibussioperaattoreiden haastatteluihin.

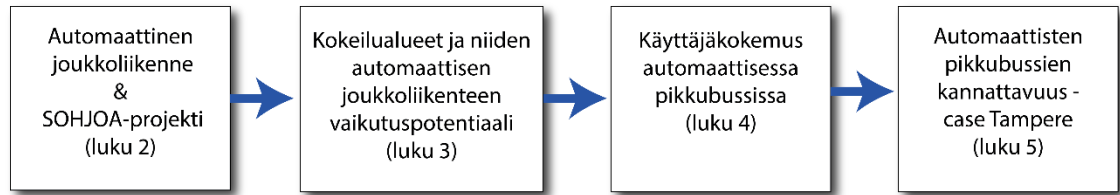
Luvussa neljä on hyödynnetty survey-tutkimusta kyselyiden ja haastatteluiden muodossa.  
Saunders et al. (2009, s. 362) toteavat kyselytutkimusten toimivan parhaiten standar-  
doiduilla kysymyksillä, jotka kaikki vastaajat ymmärtävät samalla tavalla. Hervannan ky-  
selyissä on käytetty formaaleja ja strukturoituja kysymyksiä ja kysely toteutettiin verk-  
kokyselynä robottibusseissa jaettavien QR-koodilappujen avulla. Kysymykset olivat pää-  
osin monivalintakysymyksiä, mutta viimeinen kysymys toteutettiin kuitenkin avoimessa  
muodossa, koska haluttiin kuulla vapaa sana robottibusseihin liittyen. Kyselylomakkeita  
jaettiin myös paperisessa muodossa niille, jotka eivät voineet vastata verkkokyselyyn.  
Kyselyn tulosten kokoamiseen käytettiin Webropol-ohjelmistoa.

Haastattelut puolestaan toteutettiin Otaniemessä avoimena haastatteluna robottibussien  
matkustajille bussin kyydissä. Haastatteluista oli tarkoitus saada laadukkaampia ja katta-  
vampia vastauksia, kun puolestaan kyselystä saatiin määrällisesti enemmän tietoa, jonka  
analysointi oli yksinkertaisempaa. Molempien survey-tutkimuksen menetelmiä täyden-  
nettiin työssä osallistuvalla havainnoilla: robottibussien kyydissä olevat operaattorit oli-  
vat jatkuvasti läsnä operoinnin aikana ja juttelivat sekä havainnoivat vapaamuotoisesti  
matkustajien käyttäytymistä (Saunders et al. 2009, s. 290). Vuoden 2016 ajojen jälkeen  
operaattoreita haastateltiin ja heidän vastauksiensa ja survey-tutkimuksen pohjalta muo-  
dostettiin lopputulokset.

Pääongelmaa käsittelevässä luvussa viisi tarkastellaan bussiliikenteen järjestämisen ny-  
kyisiä toimintamalleja ja kustannusrakennetta kirjallisuuskatsauksen avulla. Tämän tie-  
don avulla tarkastellaan tapaustutkimuksena yksittäistä liityntälinjaa, jonka operointikus-  
tannuksia tarkastellaan yksityiskohtaisesti. Kustannusten lisäksi robottibussien toiminta-  
mallia lähdettiin tarkastelemaan asiantuntijatyöpajan tulosten pohjalta.

## 1.4 Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen rakenne on muodostettu niin, että luvussa 1.2 määritettyyn pääkysymyk-  
seen luodaan tarvittava pohja alakysymysten avulla, joka lopulta täydennetään lisäyksi-  
n pääkysymyksen vastaukseksi luvussa 5. Tutkimuksen rakenne on esitetty tiivistetysti ku-  
vassa 1. Tutkimus koostuu kokonaisuudessaan kuudesta luvusta. Työ alkaa johdantolu-  
vulla, jossa esitellään tutkimuksen taustalla vaikuttavat tekijät ja ilmiöt, tutkimuksen ai-  
hepiiri, hanke, johon diplomityö sisältyy, tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset  
sekä työn rajaus.



**Kuva 1.** Tutkimuksen rakenne tiivistetysti.

Luvussa kaksi selvitetään teoriaa automaattisen joukkoliikenteen taustalla. Ensimmäisenä käydään läpi joukkoliikenteen teoriaa, johon sisältyvät joukkoliikenteen määritelmä, toimintaperiaate, liikennevälineet, joukkoliikenteen palvelutasomääritelmä ja matkan osavaiheet. Toisena määritellään joukkoliikenteen keskeisimmistä haasteista viimeisen kilometrin ongelma, siihen johtavat syyt, joukkoliikenteen ja julkisen liikenteen määritelmien ero sekä robottibussien asettuminen termistöön ja käytäntöön. Kolmantena ja viimeisenä perehdytään automaattisen joukkoliikenteen teoriaan. Tässä perehdytään automaation eri tasoihin ja automaatioon eri joukkoliikennevälineissä. Luvussa käsitellään myös tieliikenteen joukkoliikenteen ja henkilöautojen automaation eroja.

Kolmannessa luvussa käsitellään robottibussien vaikutuspotentiaalia joukkoliikenteen palvelutasoon. Luvussa keskitytään kolmeen SOHJOA-projektin kokeilualueeseen ja selvitetään näiden alueiden ominaisuuksien ja kokeiluista saadun tiedon pohjalta mahdollisia vaikutuksia joukkoliikenteen palvelutasoon. Palvelutasoa tutkitaan palvelutasotekijäkohtaisesti ja lopuksi luvussa esitellään koonti palvelutasosta ja kolmen kokeilualueen toimintaympäristöjen hyödyistä ja haasteista.

Luvussa neljä selvitetään käyttökokemusta automaattisessa joukkoliikenteessä ja ihmisten suhtautumista automaattisiin ajoneuvoihin. Luvun alussa käsitellään yleisiä käsityksiä tieliikenteen automaatioon ja kerrataan jo tehtyjen kyselytutkimusten tuloksia. Alustuksen jälkeen luvussa aukaistaan Otaniemen haastattelujen sekä Hervannan kokeiluissa toteutetun käyttäjäkyselyn tulokset ja analysoidaan näitä.

Käyttäjäkokemuksen analysointia seuraa päätutkimuskysymykseen vastaava luku viisi, jossa käsitellään bussiliikenteen kustannusrakennetta robottibussien myötä. Luvun alussa selvitetään nykyisiä bussiliikenteen toimintamalleja sekä bussiliikenteen kustannusrakennetta. Näiden tietojen pohjalta vertaillaan robottibussien kustannusrakennetta tavallisiin busseihin raitiotiesuunnitelmien mukaisella liityntälinjalla Hervannassa. Kustannusrakenteen lisäksi selvitetään robottibussien mahdollisia toimintamalleja pohjautuen liikenteen automaatio-työpajan tuloksiin.

Työn lopuksi kuudennessa luvussa tehdään johtopäätökset robottibussien vaikutuspotentiaalista niin palvelutason kuin joukkoliikenteen kustannusrakenteen näkökulmasta. Johtopäätöksiä lisäksi pohditaan mahdollisia jatkotutkimuskohteita ja tarkastellaan lyhyesti työtä kriittisesti arvioiden.

## 2. AUTOMAATTINEN JOUKKOLIIKENNE

Älykäs automaatio liikennejärjestelmässä lisääntyy valtavan nopealla tahdilla. Joukkoliikenteessä automaatio tarjoaa mahdollisuuden kehittää täysin uusia joukkoliikennemuotoja sekä täydentää ja tehostaa nykyisiä toimintamalleja. Mahdollisuuksia on lukuisia mutta haasteita on vähintään saman verran. Tässä luvussa käsitellään joukkoliikenteen sekä liikenteen automaation teoriaa, esitellään työn pohjana toimiva SOHJOA-hanke sekä selvitetään, mitä muita vastaavanlaisia kokeiluja maailmalla on parhaillaan käynnissä.

### 2.1 Joukkoliikenne

”Joukkoliikenne on suurten ihmismäärien kuljettamista siihen erityisesti suunnitelluilla liikennevälineillä.” -määrittelee Liikennevirasto (2013, s. 9). Suomen joukkoliikenne-laissa puolestaan joukkoliikenteellä tarkoitetaan yleisesti käytettävissä tai tilattavissa olevaa, useiden ihmisten kuljettamiseen tarkoitettua ammattimaista markkinaehtoisesti tai palvelusopimusasetuksen mukaisesti harjoitettua linja-autoliikennettä ja palvelusopimusasetuksen mukaisesti harjoitettua raideliikennettä. (Finlex 2015, 2§) Joukkoliikenne on henkilöliikennettä ja voi olla joko julkista tai yksityistä. Julkinen liikenne vastaavasti tarkoittaa henkilöliikennettä, joka hoidetaan kaikkien käytettävissä olevilla liikennevälineillä. Näin ollen joukkoliikenteen lisäksi taksiliikenne on julkista liikennettä. (Liikennevirasto 2013, s. 10)

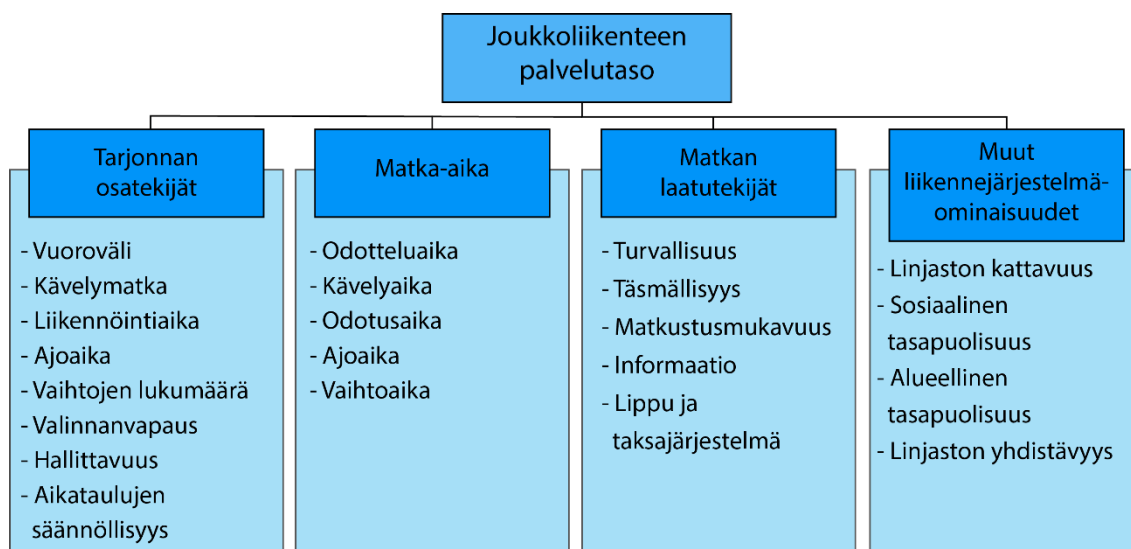
Yleisimpiä joukkoliikennevälineitä ovat linja-autot eli bussit sekä raideliikenteen junat, raitiovaunut ja metro (Liikennevirasto 2013, s. 9). Joukkoliikennevälineiksi voidaan teknisesti lukea myös matkustajalentokoneet ja meriliikennevälineet, mutta nämä sisältävät omat erilliset säädöksensä eikä näitä käsitellä tämän työn laajuudessa tarkemmin. Termiä liikenneväline käytetään yleisesti johtuen Suomen tieliikennelaista, jossa ajoneuvolla tarkoitetaan ”maalla kulkemaan tarkoitettua laitetta, joka ei kulje kiskoilla” (Finlex 2002, 2a§). Tässä tutkimuksessa ajoneuvo määritelmänä riittää laajuudessaan, sillä tutkimuksessa käsitellään kumipyöräliikennettä.

Joukkoliikenne on peruspalvelu, joka yhdessä yhteiskunnan tukeman henkilöliikenteen kanssa tarjoaa ihmisille mahdollisuuden jokapäiväiseen liikkumiseen taloudellisesti edullisesti sekä asuinpaikasta ja liikennevälineiden omistuksesta riippumatta. Peruspalvelun luonteisesti riittävää palvelutasoa on ylläpidettävä yhteiskunnan tuella. Joukkoliikennettä on reitti- ja aikataulusidonnaista sekä kutsuperusteista, jossa joukkoliikennevälineen reitti muodostuu matkustajien kysynnän mukaisesti. (Liikennevirasto 2013, s. 9)

Joukkoliikenteen laatua kuvaa palvelutaso. Palvelutasoa arvioidaan palvelutasotekijöiden avulla, jotka voidaan jakaa laadullisiin ja määrällisiin palvelutasotekijöihin. Laadullisia

tekijöitä ei voida mitata kvantitatiivisesti mutta ne kuvastavat kuinka miellyttäväksi matkustaja kokee joukkoliikenteen tarjonnan ja joukkoliikenteellä matkustamisen. Laadullisia tekijöitä ovat esimerkiksi saavutettavuus, matkustusmukavuus ja hallittavuus. Määrälliset palvelutasotekijät ovat mitattavissa. Näitä ovat muun muassa matka-aika, vuoro- tarjonta, täsmällisyys ja vaihtojen määrä. (Liikennevirasto 2013, s. 23)

Joukkoliikenteen palvelutaso määräytyy useiden eri tekijöiden yhteisvaikutuksena. Pesonen et al. (2006, ss. 14-19) jakavat palvelutasoon vaikuttavat tekijät neljään eri luokkaan: tarjonnan osatekijät, matka-aika, matkan laatutekijät ja muut liikennejärjestelmän ominaisuudet. Nämä osatekijät ja niiden sisältämät laadulliset ja määrälliset palvelutasotekijät on esitetty kuvassa 2. Palvelutasotekijät ovat usein osin päällekkäisiä ja eri osatekijät vaikuttavat toisiinsa osatekijöihin joko suorasti tai välillisesti. Siksi keskeistä on tarkastella joukkoliikenteen palvelutasoa osatekijöiden muodostamana kokonaisuutena. Huomattavaa on, että palvelutasotekijät eivät sisällä matkan hintaa, joka on merkittävä tekijä kulutapaa valittaessa.

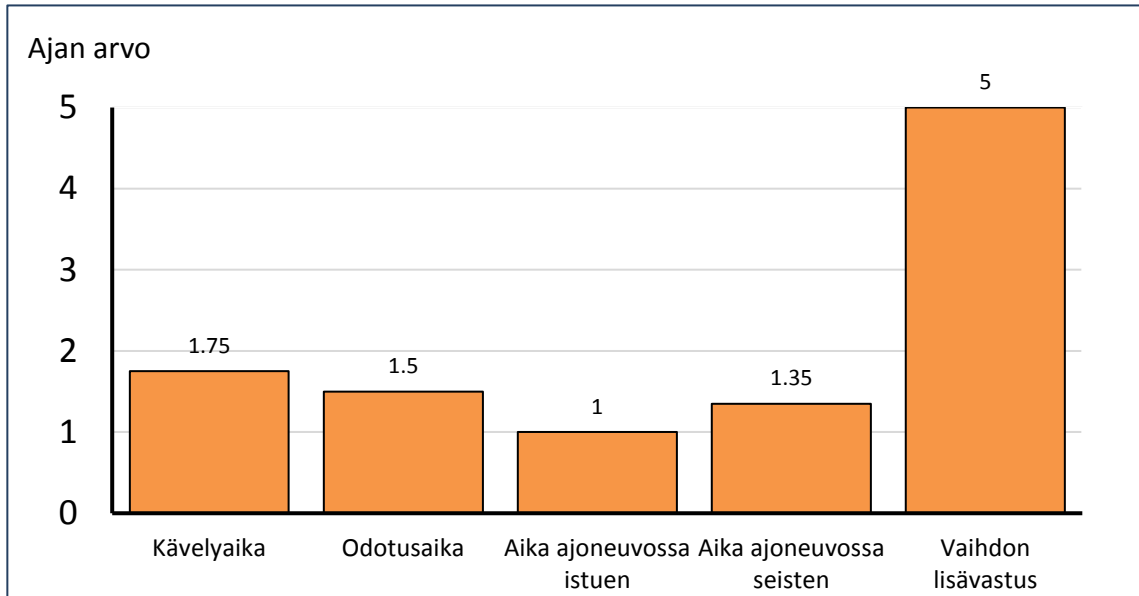


**Kuva 2.** Joukkoliikenteen palvelutason osatekijät (muokattu: Pesonen et al. 2006)

Matkustajan kokemus ovelta-ovelle matkassa perustuu joukkoliikenteen palvelutasoon. Tästä johtuen kaikki matkan eri osavaiheet vaikuttavat palvelutasokokemukseen. Matkan osatekijät koostuvat siirtymismatkasta ja -ajasta pysäkillä ja pysäkiltä, odotusajasta pysäkillä, ajoajasta liikennevälineessä sekä mahdollisesta liikennevälineen vaihtoajasta. Matkan lähtöpaikassa voi olla lisäksi piilevää odottelu-aikaa, kun matkustaja valmistautuu pysäkillä lähtöön. (Pesonen et al. 2006)



Jokainen matkustaja kokee matkustukseen käytetyn ajan eri tavalla, joten todenmukainen aika ei välttämättä kuvaa joukkoliikenteessä koettua matka-aikaa. Matka-ajan osavaiheille on siis tullut määrittää painoarvoja sen mukaan, kuinka rasittavaksi kukin osavaihe koetaan. Oheisessa kuvassa 3 on esitetty matka-ajan osavaiheiden keskimääräisiä painoarvoja. (Metsäranta et al. 2007, s. 31)



**Kuva 3.** Joukkoliikennematkan osavaiheet ja painoarvot. Arvo 1,0 = tosiaika (muokattu: Metsäranta et al. 2007).

Painoarvot ovat suuntaa antavia ja voivat vaihdella paljon riippuen alueen kaupunkirakenteesta, joukkoliikenteen palvelutasosta sekä yksilöstä itsestään. Erityisesti vaihdon lisävastus koetaan monin paikoin suureksi, joten vaihtotoimintoja pyritään tehostamaan aikatauluttamalla vuoroja, tekemällä laadukkaita vaihtopysäkkejä ja tarjoamalla tarkempaa tilanneinformaatiota matkustajille. (Metsäranta et al. 2007, s. 31)

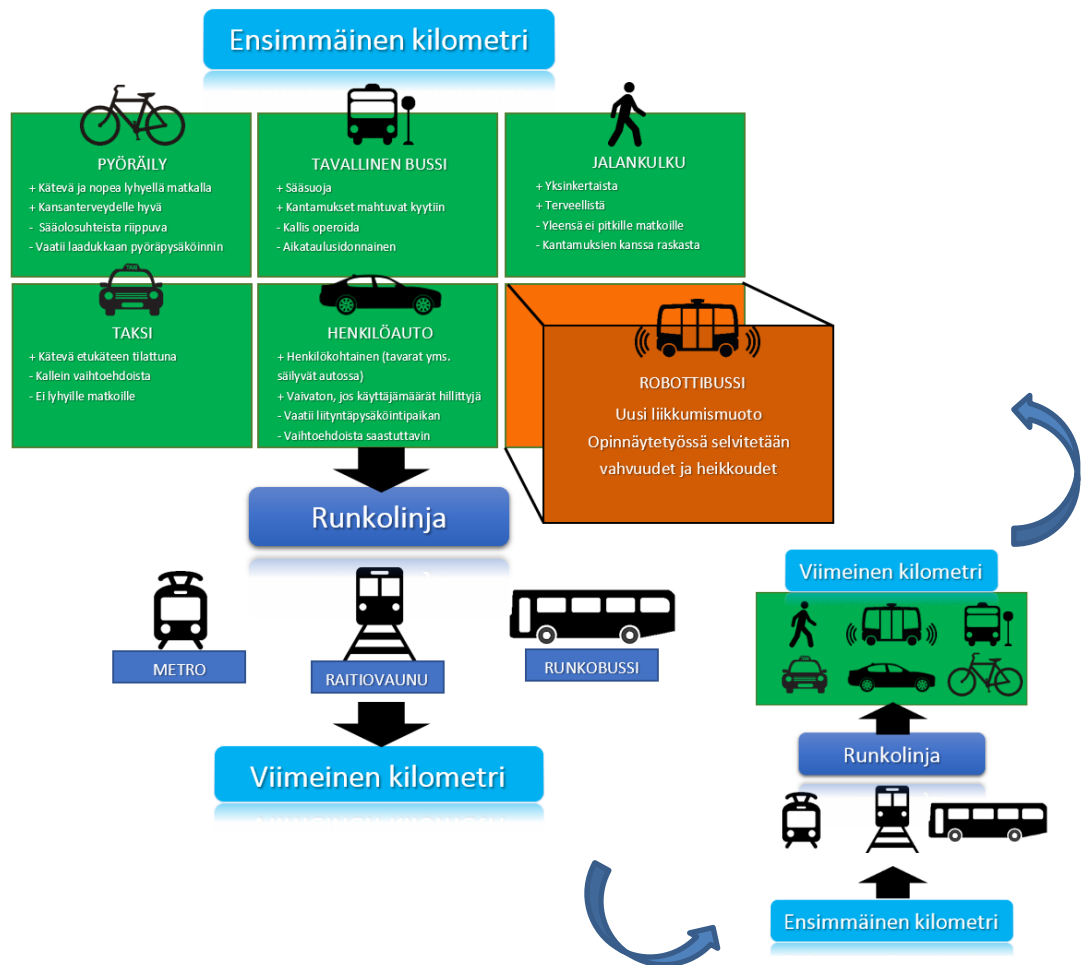
Joukkoliikenteen kehittäminen kohti runkolinjastopohjaista ratkaisua on selvästi havaittava trendi Suomen suurimmissa joukkoliikennekaupungeissa (muun muassa HSL 2015; Tampereen kaupunki 2014; WSP 2009). Runkolinjastolla tarkoitetaan nopeudeltaan, vuoroväliltään ja laadultaan korkeatasoisia joukkoliikenteen linjoja. Perusideana on, että linjasto on yksinkertainen, helppokäyttöinen ja rakennettu riittävän tiiviin kaupunkirakenteen keskelle tai aluekeskusten välille. Tyypillisesti runkolinjasto järjestetään raideliikenteellä, mutta myös bussiliikennepohjaisia ratkaisuja käytetään yleisesti. Runkolinjaston myötä muut joukkoliikennelinjastot muuttuvat valtaosin liityntälinjastoiksi, jotka syöttävät suuremman kapasiteetin runkolinjalle matkustajia. Tämä tarkoittaa lisää vaihtoja kuluneuvojen välillä, jotka voivat huonosti järjestettynä lisätä matkavastusta. (WSP 2009, s. 4)

## 2.2 Joukkoliikenteen last mile

Joukkoliikenne kilpailee käyttäjistä lähes yksinomaan yksityisautoilun kanssa. Joukkoliikenteellä tyypillisesti liikennöintireitit ovat ennalta määritettyjä, jolloin ne eivät voi tarjota henkilöautoilla onnistuvaa ovelta-ovelle tyypistä ratkaisua. ”Viimeisen kilometrin” ongelma (eng. ”last mile”) onkin joukkoliikenteen keskeisimpiä haasteita: kuinka saada matkustajat pysäkillä ja pysäkiltä määräpaikkaansa mahdollisimman vaivattomasti ja nopeasti. Ongelma ilmenee siis joukkoliikennematkan viimeisen osavaiheen lisäksi myös ensimmäisessä vaiheessa; näin ollen kyse on myös ”ensimmäisestä kilometristä”. Ensimmäisen ja viimeisen kilometrin ongelmalle ei ole yleisesti määritettyä pituutta –vaikka nimestä voisi näin päätellä– vaan termin tarkoitus on korostaa joukkoliikennematkan ensimmäistä ja viimeistä osavaihetta sekä näiden järjestämisen haasteellisuutta. Puutteelliset viimeisen kilometrin liikennepalvelut ovat erityisesti haaste tietyille demografisille väestöryhmille, kuten koululaisille, senioreille ja vammaisille (Wang & Odoni 2013, s. 1).

Luvussa 2.1 esitellyt joukkoliikenteen runkolinjat ylläpitävät korkean palvelutasonsa reiteillään, mutta näiden ulkopuolella alueellisten liityntälinjastojen yhdistäminen runkolinjastoon on haasteellista niin taloudellisesti kuin joukkoliikenteen palvelutasoa ajatellen. Viimeisen kilometrin tehostaminen osana matkaketjua on hyvin perusteltua, sillä joukkoliikenteen matka-ajan tulisi pystyä kilpailemaan henkilöauton matka-ajan kanssa.

Joukkoliikenteen ensimmäisen sekä viimeisen kilometrin ongelmaa on pyritty helpottamaan muun muassa paremmalla linjastosuunnittelulla, sujuvilla jalankulun yhteyksillä sekä liityntäpysäköinnillä (Metro 2014, pp. 13-14). Robottibussit puolestaan voisivat tuoda viitekehukseen täysin uuden vaihtoehdon ja samalla lisätä liikkumisen valinnanvapautta. Oheisessa kuvassa 4 on esitetty joukkoliikennematkan osien mahdollisia liikennevälineitä sekä viimeisen ja ensimmäisen kilometrin yhtenevyyttä. Vaikka matkallisesti ensimmäinen ja viimeinen osuus ovat yleensä runkolinjaa lyhyempiä, on niiden korkea palvelutaso äärimmäisen tärkeää joukkoliikenteen houkuttelevuuden kannalta.



**Kuva 4.** Joukkoliikennematkan mahdolliset kulkumuodot ja robottibussi uutena kulkumuotona.

Tässä työssä tutkitaan robottibussien vaikutuspotentiaalia osana julkisen liikenteen last mile -liikennettä. Tavoitteellisesti kahdentoista hengen robottibussit olisivat osa julkista liikennettä, joka täydentää joukkoliikennettä. Robottibussit asettuisivat siis näiden termien rajapintaan, sillä robottibussit eivät kuljeta suuria ihmismääriä kerralla; toisaalta Suomen lainsäädännössä joukkoliikenne määritettiin useiden ihmisten kuljettamiseen tarkoitetuksi linja-autoliikenteeksi. Selkeyden vuoksi jatkossa työssä käytetään termiä joukkoliikenne robottibusseista puhuttaessa.

## 2.3 Automaatio joukkoliikenteessä

### Tieliikenteen automaation tasot

Automaattisilla kulkuneuvoilla tarkoitetaan kulkuneuvoja, joiden turvallisuuskriittiset toiminnot, kuten ohjaaminen, kiihdyttäminen ja jarruttaminen tapahtuvat ilman ihmisen panosta. Automaattiset ajoneuvot voivat hyödyntää tarpeellisen tiedon keräämiseen sensoreita, satelliittipaikannusta ja telekommunikaatiota muodostaakseen itsenäisen päätöksen ja toimiakseen tilanteen ja automaation tason edellyttämällä tavalla. Automaattinen

ajoneuvo pystyy siis osittain itsenäiseen ajosuoritukseen (NHTSA 2013). Autonominen ajoneuvo eroaa automaattisesta siten, että autonominen ajoneuvo pystyy täysin itsenäisesti ilman kuljettajaa suoriutumaan dynaamisesta ajotehtävästä ennalta määrittelemättömässä ympäristössä nojautuen omiin järjestelmiinsä tukena mahdollisesti tietoliikenneyhteyksiä ja taustajärjestelmiä. Lisäksi työssäkkin käsiteltävät automaattiset ajoneuvot voivat olla kauko-ohjattuja, jolloin kuljettaja on yhteydessä kulkuneuvoon langattoman etäyhteyden välityksellä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2015, ss. 12-13)

Ajoneuvojen automaatiota tarkasteltaessa automaatio on syytä jakaa eri automaation tasoihin tarkastelun selventämiseksi. The International Society of Automotive Engineers (2014) on muodostanut kattavan taulukon ajamisen automaation tasoista, johon on sisällytetty tasojen ominaisuudet yleiseen konsensukseen perustuen. Taulukossa 2 on esitetty kyseisestä taulukosta suomennettu versio. Nämä tasot ovat yleisesti sovellettavissa eri tieliikenteen ajoneuvoihin. Taulukon tasot käsittelevät dynaamista ajotehtävää ja sen jakautumista ihmisen ja automaattisen järjestelmän välillä. Dynaaminen ajotehtävä sisältää ajotehtävän operationaaliset ja taktiset osuudet mutta ei strategista osuutta. Operationaalisia tehtäviä ovat ohjaus, kiihdytys, jarrutus ja ajoneuvon monitorointi; vastaavasti taktisia tehtäviä ovat muun muassa tapahtumiin reagointi, kaistan vaihdon ajoittaminen, kääntyminen sekä vilkun käyttö. Strategisiksi tehtäviksi luetaan määränpään määrittäminen ja pysähtymispisteet. (SAE 2014)

Automaation tasot jaetaan SAE:n määrittelyssä kuuteen eri tasoon, missä taso 0 tarkoittaa täysin manuaalista ajoneuvoa, jossa ihminen on kaikista ajotoiminnoista vastuussa. Tasolla 0-2 ihminen monitoroi ympäristöä, kun vastaavasti tasolla 3-5 ympäristön monitoroinnista vastaa automaattinen järjestelmä. Korkeimmalla tasolla järjestelmä eli automaattiajamisen suorittava järjestelmä vastaa kaikista dynaamisen ajotehtävän osa-alueista ja kattaa kaikki ajotilanteet. Tämä sisältää siis taulukon 2 mukaisesti ohjauksen, kiihdytyksen, jarrutuksen, ympäristön monitoroinnin ja ajamisen varasuorittajan tehtävän. Vain korkeimman eli 5. tason täyden automaation ajoneuvot ovat *autonomisia* ajoneuvoja, sillä

ne voivat autonomisuuden määritelmän mukaisesti toimia täysin itsenäisesti ilman ulkopuolista vaikutusta. (SAE 2014)

**Taulukko 2. Tieliikenteen automaation tasot (muokattu: SAE 2014).**

<i>Taso</i>	<i>Nimi</i>	<i>Määritelmä</i>	<i>Ohjaus, kiihdyttäminen, jarrutus</i>	<i>Ympäristön monitorointi</i>	<i>Dynaamisen ajamisen varasuorittaja</i>	<i>Automaation kattavuus</i>
<b>Ihminen monitoroi ympäristöä</b>						
<b>0</b>	<b>Ei automaatiota</b>	Ihminen suorittaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, vaikka ajamista tuettaisiin varoituksilla tai ajamiseen puuttavilla järjestelmillä	Ihminen	Ihminen	Ihminen	-
<b>1</b>	<b>Kuljettajan tuki</b>	Ajotilannekohtaisia kuljettajan tukijärjestelmiä, jotka liittyvät joko ohjaamiseen tai kiihdyttämiseen/jarruttamiseen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista dynaamisen ajotehtävän osa-alueista.	Ihminen ja järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
<b>2</b>	<b>Osittainen automaatio</b>	Yksi tai useampi kuljettajan tukijärjestelmä, joka kattaa sekä ohjaamisen että kiihdyttämisen /jarruttamisen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamisen ajotehtävän osa-alueista.	Järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
<b>Järjestelmä monitoroi ympäristöä</b>						
<b>3</b>	<b>Ehdollinen automaatio</b>	Ajotilannekohtainen automaattinen järjestelmä suorittaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet. Ihminen täytyy kuitenkin ottaa auto hallintaansa järjestelmän pyytessä.	Järjestelmä	Järjestelmä	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
<b>4</b>	<b>Korkea automaatio</b>	Ajotilannekohtainen automaattinen järjestelmä suorittaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet myös silloin, kun ihminen ei ota ajoneuvoa hallintaansa järjestelmän tätä pyytessä. Ellei kuljettaja ota ajoneuvoa hallintaansa, järjestelmä ohjaa ajoneuvon hallitusti tien sivuun ja pysäyttää sen.	Järjestelmä	Järjestelmä	Järjestelmä	Suurin osa ajotilanteista
<b>5</b>	<b>Täysi automaatio (autonominen)</b>	Kaiken kattava automaattijärjestelmä, joka kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet kaikissa tie- ja ympäristöolosuhteissa.	Järjestelmä	Järjestelmä	Järjestelmä	Kaikki ajotilanteet

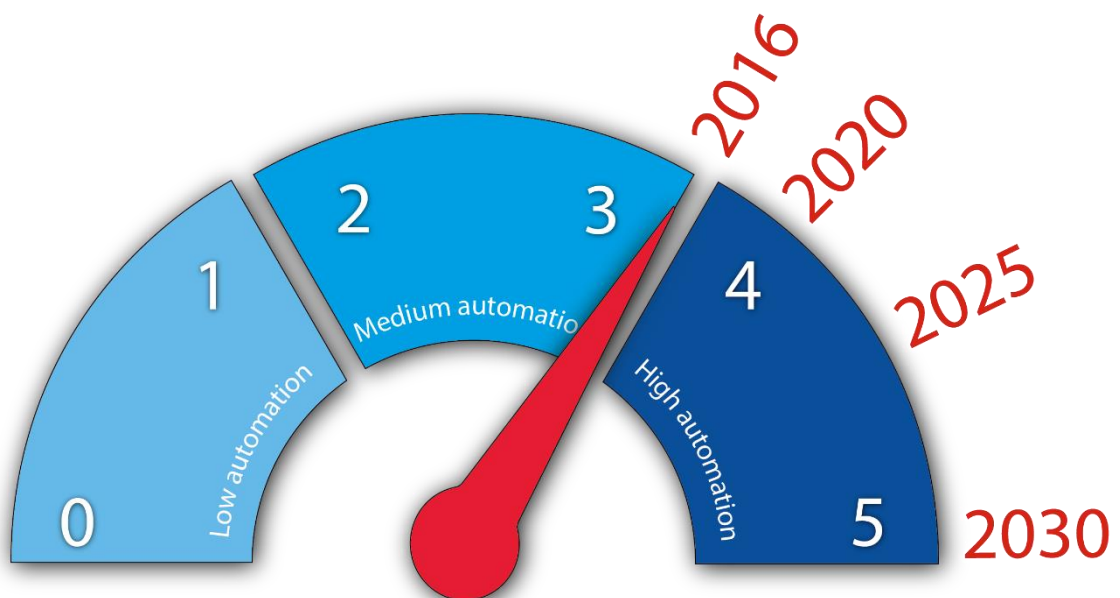
Robottiajoneuvoista puhuttaessa tarkoitetaan automaation tasojen 3-5 ajoneuvoja. Nämä kykenevät itsenäiseen ajosuoritukseen suorittaen kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, mutta on mahdollista, että ihmisen tulee poikkeustilanteissa ohjata ajoneuvoa manuaalisesti. Manuaalinen ohjaaminen voi tapahtua joko operoijan ollessa fyysisesti läsnä ajoneuvossa tai vaihtoehtoisesti ohjaussuoritus tapahtuu etäkäyttöisesti esimerkiksi operaatiokeskuksesta. Tässä työssä käytettävällä termillä ”robottibussi” tarkoitetaan SOH-JOA-projektissa käytettävien automaation tason 4 pikkubusseja. Robottibussilla tarkoitetaan tässä työssä vielä tarkemmin 12-hengen pikkubussia, joka on tarkoitettu last mile -liikennöintiin.

Automaattiajamisen suurimpia haasteita on selvittää vastuukysymys automaation eri tasoilla, erityisesti onnettomuustilanteissa. Automatisoitujen ajoneuvojen hyväksymiseksi vastuu ajoneuvon ajajan, omistajan ja ajoneuvovalmistajan välillä tulee ratkaista tasokoh-

taisesti. Ennen vastuu on ollut lähes poikkeuksetta kuljettajalla, joka on vakuuttanut itsensä tai työnantaja on tehnyt sen hänen puolestaan. Tulevaisuudessa vastuu voi kuitenkin siirtyä hiljalleen laitevalmistajille tai jopa ohjelmistotuottajille (Yeomans 2014, s. 18). Muun muassa Volvo on todennut ottavansa täyden vastuun, kun heidän tulevat autonsa ovat autonomisessa ajossa (Korosec 2015).

Muut liikenteen automaation haasteet liittyvät ajoneuvojen ympäristön havainnointiin, järjestelmien luotettavuuteen, turvallisuuteen, käyttäjien hyväksyntään ja kaupallistamiseen. Ympäristön havainnointi vaatii äärimmäistä tarkkuutta ja luotettavuutta sensoreilta: haasteena ovat erityisesti väärät hälytykset, joiden välttämiseksi tarvitaan laajaa sensori-  
fuusioita ja kehittyneitä laskenta-algoritmeja. Teknologisen kehityksen myötä luotettavuus ja turvallisuus parantuvat, mutta laaja-alaisia kokeiluja tarvitaan, jotta voidaan saavuttaa käyttäjien luottamus sekä tunnistaa kaupallisia käyttökohteita ja mahdollisuuksia. (ERTRAC 2015, pp. 29-34)

Haasteista huolimatta automaatio etenee vääjäämättä kohti täysin autonomisia ajoneuvoja. Automaation tasojen tarkkoja ilmestymisvuosia on kuitenkin mahdotonta tietää tarkasti, mutta muun muassa ERTRAC (2015) ja iMobility Forum (2013) ovat arvioineet liikenteen automaation saapuvan nopeimmin moottoriteille ja isommille väylille, kun taas urbaani automaatio yleistyy tämän jälkeen. Arvioiden mukaan vuosien 2026-2028 aikana moottoriteillä nähdään täysin autonomisia ajoneuvoja. Vastaavasti urbaanissa ympäristössä aikaikkunaksi on asetettu 2028-2030. On kuitenkin mahdollista, että tietyt teknologiset tai taloudelliset sysäykset voivat nopeuttaa tai hidastaa aikatauluja useilla vuosilla. Kuvan 5 mukaiset automaation tasojen ilmestymisvuodet ovat siis vain suuntaa antavia.

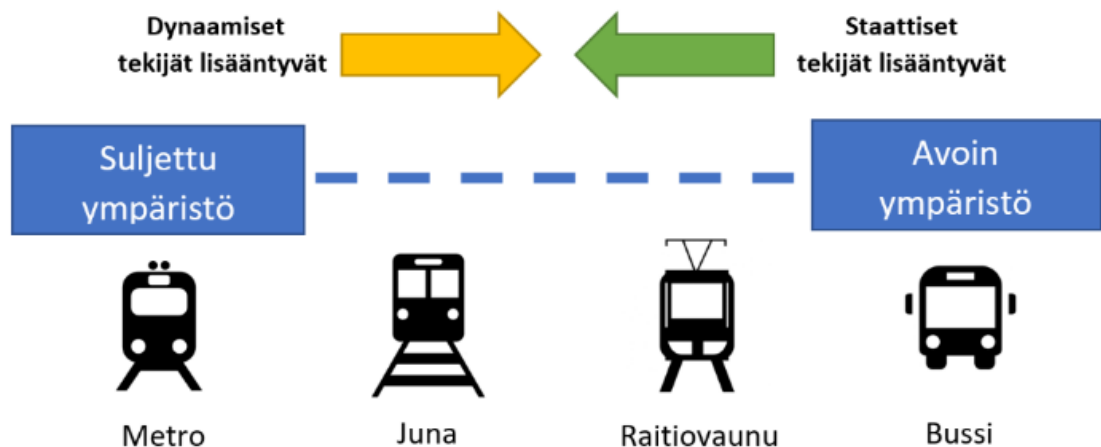


**Kuva 5.** Nykyinen tieliikenteen automaation taso ja tulevaisuuden automaation tasot (mu-  
kaillen ERTRAC 2015 & iMobility Forum 2013)

## Joukkoliikenteen automaation toimintaympäristöt

Liikenteen automaatioon liittyy olennaisesti automaation tasojen lisäksi automaation eri toimintaympäristöt, jotka määrittävät millaisten tekijöiden kanssa automaattiset kulku-neuvot ovat vuorovaikutuksessa. Nykykirjallisuudessa ei ole tarkemmin kuvailtu auto-maattisten ajoneuvojen toimintaympäristöjä, joten tässä työssä näille luodaan alustava jako ja määrittely. Toimintaympäristö voi olla suljettu, osittain suljettu tai avoin. Näissä toimintaympäristöissä voi olla joko staattisia tekijöitä eli tekijöitä, jotka ovat helposti ennustettavissa, tai dynaamisia tekijöitä, jotka ovat ennalta arvaamattomia ja yllättäviä.

Suljetussa ympäristössä dynaamiset tekijät ovat minimaalisia ja koko ympäristö on hyvin ennustettavissa. Esimerkki suljetusta automaation toimintaympäristöstä on metrotunneli. Osittain suljetussa ympäristössä dynaamisten muuttujien määrä lisääntyy mutta ympäristö on edelleen suhteellisen hallittu. Tällainen toimintaympäristö on junilla, sillä junat kulkevat raiteilla ennustettavasti; toisaalta dynaamisia tekijöitä ovat juna-asemien laitu-reilla ja tasoristeyksissä liikkuvat ihmiset sekä esimerkiksi junarataa ylittävät eläimet. Raitiovaunut asettuvat juniin verrattuna lähemmäksi avointa ympäristöä, sillä ne ovat lähes jatkuvassa vuorovaikutuksessa myyn ympäristön kanssa. Viimeisimpänä toimintaympäristönä on liikenteen automaation kannalta avoin ympäristö. Avoimesta ympäristöstä on löydettävissä runsaasti staattisia sekä dynaamisia muuttujia. Tieliikenne yleisesti toimii avoimessa ympäristössä, jossa dynaamisia tekijöitä on lukuisia ja staattisia hyvin vähän. Joukkoliikenteen toimintaympäristöä ja tekijöitä on havainnollistettu kuvassa 6.



**Kuva 6.** Joukkoliikenteen toimintaympäristö ja dynaamisten ja staattisten tekijöiden muutokset.

## Joukkoliikennevälineiden automaatio

Raideliikenteen automaation historia kantautuu aina 1900-luvun alkuajoille, jolloin metrojärjestelmien osien automaatiota alettiin tutkia ja testata ympäri Yhdysvaltoja ja hieman myöhemmin Euroopassa. Ensimmäinen täysin automatisoitu metro otettiin käyttöön New Yorkissa vuonna 1961. Kyseinen metrolinja operoi tuolloin Times Squaren ja Grand Central asemien välillä kyydissään kuljettaja, joka oli vastuussa vain hätätilanteista metron muuten toimiessa itsenäisesti. (Daddario & DeSimone 1976) Vuonna 2013 maailmassa oli 48 täysin automaattista metrolinjaa 32 eri kaupungissa. Määrältään eniten linjoja on Euroopassa ja Aasiassa, ja tulevaisuudessa Etelä-Amerikka ja Lähi-Itä panostavat entistä enemmän metrojärjestelmiensä automatisointiin. Metrolinjojen automatisointi on suhteellisen helppoa, sillä metrotunnelit ovat täysin suljettuja ympäristöjä: koko järjestelmään hallitaan automaattisesti ja laiturialueilla on toiminnassa automaattiset liukuovet, jotka aukeavat vain metron ollessa asemalla. (UITP 2013)

Raidepohjaisessa joukkoliikenteessä junien automatisointi on huomattavasti metrojen automatisointia haasteellisempaa. Junaraiteet kulkevat avoimesti maan päällä ja ovat alttiita dynaamisille tekijöille, kuten raiteita ylittävillä eläimillä ja tasoristeyksiä ylittävillä kuluneuvoille. Tästä johtuen junaliikenteen automatisointi on painottunut enemmän hallintajärjestelmien puolelle, kun puolestaan itse junien automatisointi on vasta kehitysvaiheessa. Esimerkiksi Saksan kansallinen rautatieyhtiö Deutsche Bahn arvioi autonomisten junien tulevan rautateilleen vuoteen 2023 mennessä (Zeit 2016). Junien jälkeen raitiovaunuja aletaan luultavammin automatisoimaan, mutta raitiovaunujen automatisoinnista ei ole vielä saatavilla tarkempaa tietoa.

Tieliikenteessä joukkoliikenteen bussien automatisointi on vasta kehityksensä alkuvaiheessa. Suurimmat haasteet bussien automaatiossa liittyvät dynaamisten muuttujien suureen määrään toimintaympäristössä, sekä siihen, miten järjestelmä pystyy erottelemaan nämä tekijät toisistaan ja toimimaan tilanteen vaatimalla tavalla. Robottiautoilla on tämä sama perustavanlaatuinen ongelma. Ero robottibussien ja robottiautojen välillä kuitenkin on, että robottibussit kulkevat ennalta määritetyillä reiteillä eli niin sanotusti ”virtuaalisilla kiskoilla”. Tämän reitin bussi tietää jo etukäteen, mikä itsessään tekee bussista ennustettavamman muun tieliikenteen näkökulmasta katsottuna. Toisaalta on mahdollista, että automaattiset bussit voisivat tietyillä alueilla kulkea omilla, muusta liikenteestä eristetyillä kaistoillaan, mikä luonnollisesti vähentäisi dynaamisten muuttujien määrää.

Tieliikenteen joukkoliikenteen automatisoinnin vaikutukset ovat toistaiseksi hyvin vähän tutkittu aihepiiri. Automaation hyödyntäminen joukkoliikenteessä omaa kuitenkin merkittävän vaikutuspotentiaalin, joka voi parhaimmillaan tuoda huomattavia aika- ja kustannussäästöjä, parantaa joukkoliikenteen palvelutasoa sekä luoda täysin uusia toimintaja palvelumalleja liikennejärjestelmään. Hallituksen linjauksien mukaan kokeilujen aika on nyt, joten on perusteltua, että joukkoliikenteen automaatiota tieliikenteessä kokeillaan ja tutkitaan mahdollisimman laajasti.

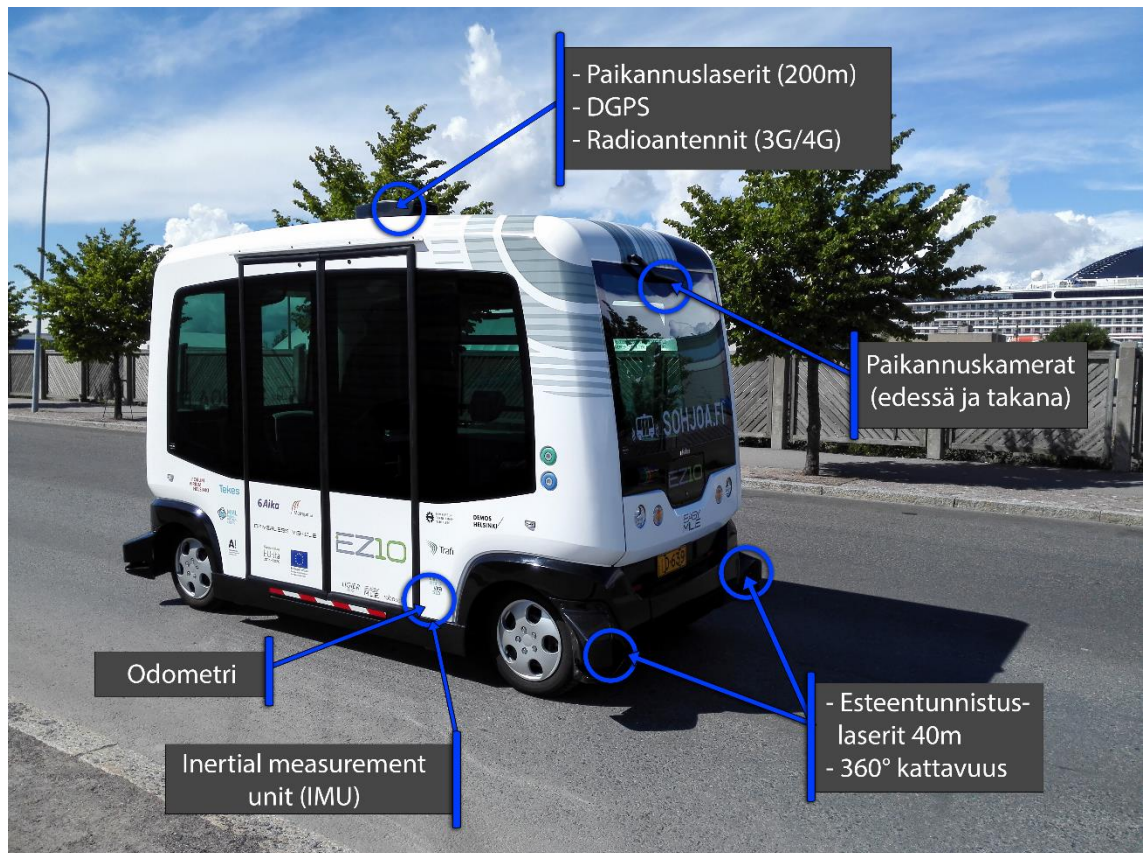


Aloni (2016) listaa motivaation, regulaation, tottumukset sekä navigoinnin tekijöiksi, joiden myötä bussien automaatio tulee johtamaan liikenteen automaation evoluutiota. Bussioperaattorien kuluista yli 50% on kuljettajakustannuksia, minkä myötä joukkoliikenneoperaattoreilla on voimakas tahto vähentää kulujaan. Toiseksi joukkoliikenne on rajoitettu ja ammattimainen liikenteen osa, jonka säädöksiin ja uusiin sääntöihin on helpompi vaikuttaa. Sääntelyn lisäksi matkustajat ovat todennäköisesti halukkaampia käyttämään kuljettajatonta bussia, sillä automaattiseen joukkoliikenteeseen on moni jo tottunut lentokentillä tai teemapuistoissa. Etuna ovat myös robottibussien käyttämät ennalta määrätyt reitit tietyin rajoituksin, jolloin bussien ei tarvitse navigoida ennestään tuntemattomilla alueilla.

Uusien automaatioteknologioiden testausvaiheessa joukkoliikenne on yksityisautoilua parempi ja turvallisempi kohde. Kuten Aloni (2016) toteaa, on joukkoliikenne ammatti-liikennettä, jossa kuljettaja on koulutettu toimimaan tilanteen vaatimalla tavalla. Automaation tasoilla 3 ja 4 kuljettaja voidaan esimerkiksi varta vasten kouluttaa toimimaan poikkeustilanteissa ollen näin ennemmin valvoja kuin kuljettaja. Automaation tasojen kasvaessa voidaan valvoja lopulta siirtää pois bussista esimerkiksi etävalvomoon. Yksityisautossa automaatio on amatöörien käsissä, mikä voi puolestaan johtaa vaaratilanteisiin järjestelmän vaatiessa ihmisen ohjausta. Tällaisia tapauksia on jo tapahtunut muutamia Teslan autopilotin ollessa päällä: tilanteet ovat lähes poikkeuksetta johtuneet ihmisen huolimattomuudesta tai tiedon puutteesta (Heisler 2016). Turvallisuus on siis tärkein tekijä automaatioteknologian kehityspolulla.

Teknologiaaltaan robottibussit ja robottiautot ovat lähes identtisiä. Operointi perustuu useiden eri järjestelmien yhteistoimintaan, joiden avulla muodostetaan ajoneuvon käytettäväksi reaaliaikainen tilannekuva. Tilannekuva muodostetaan yhdessä ajoneuvon omien sensoreiden, kuten tutkien, lasereiden ja antureiden muodostaman datafuusion, kuljettajaa avustavien järjestelmien sekä mahdollisesti ajoneuvojen ja infrastruktuurin välisten teknologioiden avulla. Kehityksen johtaessa kohti täysin autonomisia kulkuneuvoja konenäön rooli kasvaa ja samalla järjestelmän kyky analysoida ympäristöään korostuu entisestään. (Anderson et al. 2016, pp. 59-60) SOHJOA-projektissa käytettävien Easy Milen bussien paikannus perustuu satelliittidatan, paikannuslaserin, odometrian ja Inertial Mea-

surement Unitin (IMU) yhdistelmään. Esteiden tunnistus tapahtuu toistaiseksi vain ajoneuvon kulmissa sijaitsevilla lasereilla. (Easy Mile 2016) Easy Mile bussin pääteknologia on esitetty kuvassa 7.



**Kuva 7.** Robottibussien yleisimmät anturijärjestelmät. Kuvassa Easy Mile -robottibussi. (Easy Mile 2016)

## 2.4 SOHJOA-hanke

6Aika-rahoitteinen SOHJOA-hanke pilotoi automaattista liikennettä Suomen kaduilla syksyn 2016 ja vuoden 2017 aikana. Hanke vastaa elinkeinoelämän sekä kestävän ja älykkään kaupunkiliikenteen haasteisiin tuomalla Helsingin Hernesaaren, Espoon Otaniemen ja Tampereen Hervannan kaduille, kullekin vuorollaan, automaattiset, 8+1 hengen pikubussit. Bussien tarkoitus on testata mahdollista ratkaisua joukkoliikenteen last mile -operointiin, joka tarkoittaa alueellista liityntäliikennettä raskaaseen tiheään vuorovälin raide-/linja-autoliikenteeseen. Nykyisellä keinovalikoimalla tämän järjestäminen on kallista ja tehotonta, mutta autonomiset bussit voivat tuoda tähän valikoimaan uuden vaihtoehdon. Tämän kaltainen automaattinen, alueellinen liityntäliikenne on myös edellytys kannattaville MaaS-palveluille. (SOHJOA 2017)

Nykyinen Suomen lainsäädäntö mahdollistaa ja antaa valmiudet testata ja kehittää älykästä ja etävalvottua kuskitonta ajoneuvoa osana oikeaa kaupunkiliikennettä. Hankkee-

seen osallistuvan Trafin myöntämien kokeilulupien myötä Suomella on mahdollisuus ottaa iso askel kohti uutta autonomisen liikenteen muodostamien palveluiden ja ratkaisujen ekosysteemiä. Hankkeesta vastaa Metropolia hankekumppaneinaan Aalto-yliopisto, Forum Virium Helsinki, Maanmittauslaitos sekä Tampereen teknillinen yliopisto. (SOHJOA 2017)

Hankkeen päätavoitteena on luoda suomalaisille yrityksille aito mahdollisuus kehittää uusia tuote- ja palveluideoita, joita automaattinen liikkuminen edellyttää ja mahdollistaa. Toimiva automaattinen bussilinja luo yritysten käyttöön ”innovaatioalustan”, johon yritykset voivat tuoda tuotteitaan kehitettäväksi ja testattavaksi. Tämä mahdollistaa entistä paremman yhteiskehittäjyyden, jonka myötä yritykset pystyvät paremmin yhdessä kehittämään uusia liiketoimintoja. Pitkällä aikavälillä hankkeen tulokseksi tavoitellaan pysyvää liikenteen automaatiota 6Aika-kaupungeissa, joista toimivat toimintamallit voidaan siirtää muihin Suomen kaupunkeihin ja kansainväliselle tasolle. Hanke tuo myös lisää ymmärrystä liikenteen murroksesta kaupungeille, niiden asukkaille sekä yrityksille. (SOHJOA 2017)

Projektissa robottibusseille pystytetään reitti, jota pitkin robottibussit osaavat liikennöidä automaattisesti. Reitti ”opetetaan” bussille ajamalla reitti useaan otteeseen manuaalijolla, jonka aikana bussi piirtää paikannuslasereillaan pistekartan ympäristöstään sekä seuraa sijaintiaan satelliittipaikannuksen avulla. Kun reitti on saatu hiottua riittävän varmaksi ja todettu turvalliseksi operoida, voidaan robottibusseilla liikennöinti aloittaa. Bussi pysyy reitillään satelliittipaikannuksen avulla sekä vertailemalla sijaintiaan aiemmin piirrettyyn pistekarttaan. Bussien kyydissä on kokeilujen ajan aina operaattori, jonka vastuulla operointi on.

Reitin pystytykseen kuuluvat myös mahdollisten poikkeusliikennejärjestelyiden asentaminen, lupien hankkiminen sekä lähialueen ihmisten informointi ennen kokeilua ja sen aikana. Itse kokeilussa operoidaan kahdella robottibussilla. Molempien bussien kyydissä toimii bussioperaattori, joka pystyy ohjaamaan robottibussia tarvittaessa manuaalisesti ja toimii eräänlaisena oppaana matkustajille. Päivän operointia aloitettaessa operaattori ajaa bussin manuaalisesti reitilleen ja kytkee automaattiajon päälle, jonka myötä bussi aloittaa reitillä liikennöinnin. Kun bussit ovat yhtäaikaaisesti reitillä, etävalvoja valvoo bussien toimintaa ja varmistaa niiden saumattoman liikkumisen keskenään.

Vuoden 2016 kokeilujen aikana projektin saama mediahuomio on ollut suurta: robottibusseja tulivat katsomaan paikan päälle muun muassa Discovery Channel, NY Times, Henrik Hololei (European Commission director of mobility and transport), Kazakstanin suurlähetystö, Korean tv-ryhmä sekä monet muutkin tahot. Globaalissa sekä suomalaisessa mediassa robottibussit olivat myös näkyvästi esillä, kuten taulukosta 3 voidaan todeta.

**Taulukko 3.** Poimintoja hankkeen saamasta mediahuomiosta.

Media	Otsikko
The New York Times	<i>"A Slow Ride Toward the Future of Public Transportation"</i> (Fountain 2016)
CNN	<i>"Self-driving buses are roaming the streets of Helsinki"</i> (Kottasova 2016)
The Guardian	<i>"Self-driving buses take to roads alongside commuter traffic in Helsinki"</i> (Gibbs 2016)
CNET	<i>"Self-driving buses roll onto Helsinki's roads"</i> (Moyer 2016)
YLE	<i>"Robottibussit pian liikkeelle – projektipäällikkö: Haluamme, että ihmiset pohtivat tarvitsevatko he enää omaa autoa"</i> (Hänninen 2016)
Helsingin Sanomat	<i>"Robottiautot tulevat liikenteeseen"</i> (Sippola 2016)
Aamulehti	<i>"Haamukuskin kyydissä – Robottibussi kuljettaa suomalaisia jo parin vuoden päästä"</i> (Lakka 2016)

## 2.5 Vastaavanlaiset pilottiprojektit maailmalla

### Australia

Länsi-Australialainen yritys RAC kokeilee Australian länsirannikolla sijaitsevassa Etelä-Perthissä maan ensimmäistä kuljettajatonta piensähköbussia. 11-paikkainen, ranskalaisen Navyan toimittama bussi on automaattinen ja sen toiminta perustuu GPS-, kamera- ja sensoriteknologiaan. Bussin hinta on noin 200 000€ ja sen nopeus on rajoitettu testauksen ajaksi 14 km/h turvallisuussyistä. Bussissa tulee olla lain mukaan valvoja, joka vastaa kuljetuksesta ja pystyy tarvittaessa ottamaan ohjat bussista Xbox-ohjaimella. (RAC 2016)

Hankkeen kokeilujakso kestää noin vuoden ja on jaettu kolmeen eri vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa bussin ominaisuuksia testattiin suljetussa ympäristössä simuloiduissa liikenneolosuhteissa. Toisessa vaiheessa yleisöltä suljettua reittiä testattiin osittain oikean liikenteen seassa julkisella katuosuudella. Kolmannessa vaiheessa testaus on yleisölle avointa ja ilmaiset liput busseihin tulee varata etukäteen yrityksen verkkosivuilta. Tämä viimeinen vaihe jaetaan vielä kolmeen osuuteen, jossa kussakin lisätään liikenneolosuhteiden kompleksisuutta. (RAC 2016)

## Sveitsi

PostBus Switzerland LTd yhdessä muiden partnerien, kuten Sionin kaupungin, Valaisin kantonin ja ETH Lausannen kanssa testaavat kahta automaattista 11 hengen pikkubussia 33 000 hengen Sionin kaupungissa Sveitsissä. Pilotin on tarkoitus kestää kaksi vuotta ja toimia Valaisin kantonin Mobility Labin puitteissa. Joulukuun 2015 ja kevään 2016 aikana asiantuntijat testasivat busseja eristetyissä olosuhteissa, kunnes pilottiprojekti hyväksyttiin vastuutahojen puolesta. Nyt bussit ovat operoineet Sionin jalankulku- ja ”shared space” -alueella kaikille avoimesti kesäkuusta 2016 lähtien. (PostBus 2016)

4.80m pitkät ja 2.05m leveät ajoneuvot on kehittänyt ranskalainen Navya. Bussit ovat sähkökäyttöisiä ja automaattisia: ajoneuvoissa ei ole rattia ja polkimia. Kyydissä tulee kuitenkin olla SOHJOA-hankkeen tapaan erityisesti koulutettu henkilö, joka on vastuussa bussin operoinnista. Lainsäädännöllisesti projekti on vaatinut erityislupia viranomaisilta sekä edellyttänyt läheistä yhteistyötä projektitiimin, ajoneuvovalmistajan ja eri tason viranomaisten kanssa. (PostBus 2016)

Projektin tavoitteena on selvittää, tuovatko automaattiset bussit asiakkaille lisäarvoa liikumiseen julkisilla alueilla sekä onko ylipäättään mahdollista operoida pääasiassa jalankulkijoiden reiteillä. Kokemusta halutaan myös tällaisista uusista liikkumismuodoista sekä halutaan tehdä uusia alueita joukkoliikenteellä saavutettavaksi. Tarkoitus ei ole korvata nykyisiä bussilinjoja, vaan monipuolistaa liikennetarjontaa ja samalla luoda kattavampi liikennejärjestelmä. (PostBus 2016)

## Tanska

Tanskassa Vesthimmerlandin kunta aloittaa automaattisten piensähköbussien testaamisen syyskuussa 2016. Kyseessä on ensimmäinen kerta, kun automaattista liikennettä testataan kunnallisella tasolla. Testattavat ajoneuvot ovat Olli-nimisiä, jotka on valmistanut yhdysvaltalainen mikrotehdas Local Motors. Olli on lähes kokonaan 3D-tulostettu, itsestään ajava ja osittain kierrätettävä pienbussi, jossa on tilaa 12 hengelle. (Information 2016)

Paikallisten poliitikkojen laskujen mukaan automaattisella liikenteellä voitaisiin säästää aikaa sekä rahaa. Hankkeen takana olevat ihmiset haluavat nostaa Tanskan autonomisen liikenteen huipulle; hankevastaavan Henrik Scharfen mukaan teknologian testausta hidastaa Tanskan hidas byrokratia, lainsäädäntö ja vanhoilliset ajattelutavat. Monista vastaavanlaisista projekteista poiketen tavoitteena on mullistaa Tanskan kunnallinen liikenne, ja käyttää robottibusseja muun muassa liikkuvina toimistoina. (Information 2016)

## Hollanti

Hollannissa Wageningenin kunnassa Gelderlandin provinssin alulle panema hanke pyrkii testaamaan automaattisia, 6-paikkaisia pienbusseja, WEpodeja, Wageningenin yliopiston ympäristössä. Kokeiluvaihe aloitettiin marraskuussa 2015 ja ensimmäinen vaihe loppuu

syyskuussa 2016. Kokeiluun kuuluu kaksi Wepodia, joista toinen kulkee ennalta määrättyä reittiä Wageningenin yliopiston ja Ede-Wageningenin rautatieaseman välillä, ja toinen Wepod kampusaluetta ympäri. Molemmat ajoneuvot kulkevat oikean liikenteen seassa. Onnistuneen testijakson jälkeen reittejä laajennetaan, mutta tällä hetkellä päätöstä ei vielä ole tehty. (WEpod 2016)

Alun perin Hollannin lainsäädäntö ei sallinut automaattisia autoja teillään, mutta hankkeen organisoiijien hakemuksen sekä lainsäätäjille teetetyn turvallisuusdemonstraation myötä Rijkswaterstaat (julkisten asioiden direktoraatti) säati nykyistä lainsäädäntöä ja säännöksiä sallimaan automaattisen liikenteen testauksen julkisilla teillä. Tämä vaatii kuitenkin aina hakemusmenettelyn ja demonstraation, jossa ajoneuvon turvallisuutta esitellään. (WEpod 2016)

Hankkeen päätavoite on kasvattaa tietämystä automaattisesta liikenteestä. Hankkeen lopputuloksena ei tule olemaan valmista järjestelmää, vaan ennemminkin yhteistoiminnallinen kumppanuus julkisen, yksityisen ja tietoinstituutioiden välillä, mikä on tärkeä askel kohti automaattista ajamista. (WEpod 2016)

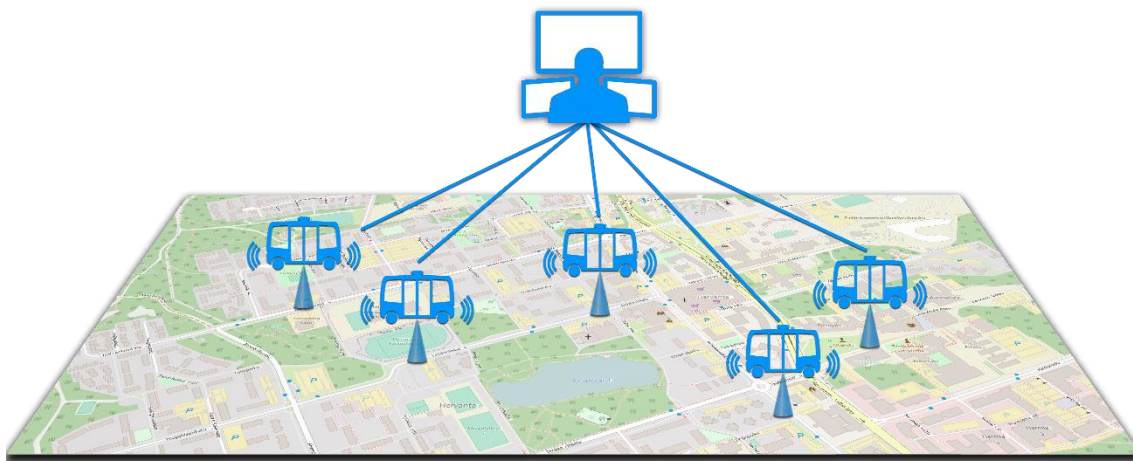
### 3. KOKEILUALUEET JA NIIDEN AUTOMAATTISEN JOUKKOLIIKENTEN VAIKUTUSPOTENTIAALI

Automaattisten pikkubussien vaikutuspotentiaalia on tehokkainta tarkastella oikeassa toimintaympäristössä, oikean liikenteen seassa ja oikeilla ihmisillä. Näin voidaan saada mahdollisimman laaja ymmärrys pikkubussien käyttökohteista osana joukkoliikennettä. Työssä käsitellään kolmea robottibusseilla operoitavaa aluetta, joista saadaan arvokasta tietoa robottibussien toiminnasta. Kokeilujen alkuvaiheessa on tärkeää pyrkiä tunnistamaan mahdollisia käyttötarkoituksia aluekohtaisesti. Alueet poikkeavat toisistaan huomattavasti, mutta yhteistä alueilla on viimeisen kilometrin ongelma ja robottibussien mahdollisuus toimia sujuvana osana alueiden runkojoukkoliikennettä. Tässä luvussa selvitetään tarkemmin, miten automaattinen last mile -liikenne voisi toimia Hervannan, Otaniemen ja Hernesaaren pilottialueilla.

Robottibussien vaikutuspotentiaalia tutkittaessa lähdetään analysoimaan laadullisesti, miten runkolinjojen syöttöliikenteenä toimivat pikkurobottibussit voivat vaikuttaa joukkoliikenteen palvelutasotekijöihin eli joukkoliikenteen palvelutasoon. Tarkastelu jaetaan neljään eri kategoriaan palvelutasotekijöittäin: tarjonnan osatekijät, matka-aika, matkan laatutekijät sekä muut liikennejärjestelmän ominaisuudet. Vaikutukset voivat olla palvelutasotekijäkohtaisesti positiivisia tai negatiivisia mutta lopputuloksena tarkastellaan kokonaisuutta.

Vaikutuspotentiaalia arvioidessa tarkastelu asetetaan vuoteen 2020. Arvio robottibussien teknologisesta ja toiminnallisesta kyvykkyydestä perustuu SOHJOA-projektin projekti-päällikkö Harri Santamalan haastatteluun sekä robottibussikokeiluista saatuihin kokemuksiin. Tavoitteellista on, että robottibussit olisivat kaupallisen käyttönsä alkuvaiheessa Tampereen raitiotien ensimmäisen osuuden valmistuessa vuonna 2021, ja ne pystyisivät toimimaan osana julkista raideliikenteen syöttöliikennettä Tampereella, Espoossa ja Helsingissä.

Vuonna 2020 pikkurobottibussien operoinnissa bussin operaattoria aletaan asteittain siirtämään pois robottibussin kyydistä niin, että kokeiluja suoritetaan ilman kuljettajaa kyydissä. Vuonna 2021 siirrytään pysyvästi pois operaattoreiden käytöstä ja aloitetaan etävalvojan käyttö. Etävalvoja valvoo kuvassa 8 havainnollistettuna useita robottibusseja samanaikaisesti etäkeskuksesta, ja hän voi poikkeustilanteissa ottaa robottibussin kontrolliinsa videoyhteyden avulla; robottibussi osaa kuitenkin itse suoriutua valtaosin dynaamisista ajotehtävistä. Hyvissä olosuhteissa ja ennalta määritetyillä reiteillä robottibussit toimivat moitteitta, mutta haastavat sääolosuhteet ovat edelleen ratkaistava ongelma. Robottibussi osaa myös säädellä nopeuttaan dynaamisesti olosuhteiden mukaan ja sen uusi huippunopeus on 25 km/h. (Santamala 2016)



**Kuva 8.** Robottibussien etävalvonta vuonna 2021 havainnollistettuna. (karttapohja: OpenStreetMap 2017)

### 3.1 Kokeilualue: Hervanta

#### 3.1.1 Nykytila ja suunnitelman mukainen joukkoliikennejärjestelmä

Hervanta on noin 24 000 asukkaan kaupunginosa Etelä-Tampereella. Alue mielletään opiskelijakaupunginosaksi, sillä Hervannassa sijaitsee Tampereen teknillinen yliopisto, jossa opiskelee lähes 10 000 opiskelijaa ja joka työllistää 2000 ihmistä. Yliopiston ohella Hervannassa sijaitsee Suomen ainut Poliisiammattikorkeakoulu sekä tekniikkaan painottuva lukio ja ammattiopiston toimipiste. Peruskouluja alueella on 3 kappaletta. Koulutuslaitosten lisäksi alueella sijaitsee teknologiakeskittymä ja yhteensä yli 9000 työpaikkaa. Alueella asuu myös yli 3000 eläkeikäistä ihmistä. Monipuolisen asukaskantansa myötä Hervanta on joukkoliikenteen käyttäjäkunnaltaan kaiken ikäistä. (Tampereen kaupunki 2014)

Hervanta on yksi Tampereen nopeimmin kasvavista etäkeskuksista (Tampereen kaupunki 2014, s. 7). Rakennetun alueen pinta-ala on noin viisi neliökilometriä eli asukkaita on lähes 5000 neliökilometriä kohden. Kaupunginosaa lävistää pääväylänä Hervannan valtaväylä sekä samansuuntainen kokoojaku Insinöörinkatu, joita pitkin suurin osa nykyisestä joukkoliikenteestä kulkee. Maankäytöltään alue on kerrostalovaltaista ja löyhästi rakennettua, mikä tuottaa haasteita tehokkaan joukkoliikenteen järjestämiselle. Katuverkko on puumainen, jossa pohjois-eteläsuuntaisilta pääkaduilta kohtisuoraan alkavat alueen kokoojakatut, joiden varrelle asutus on keskittynyt.



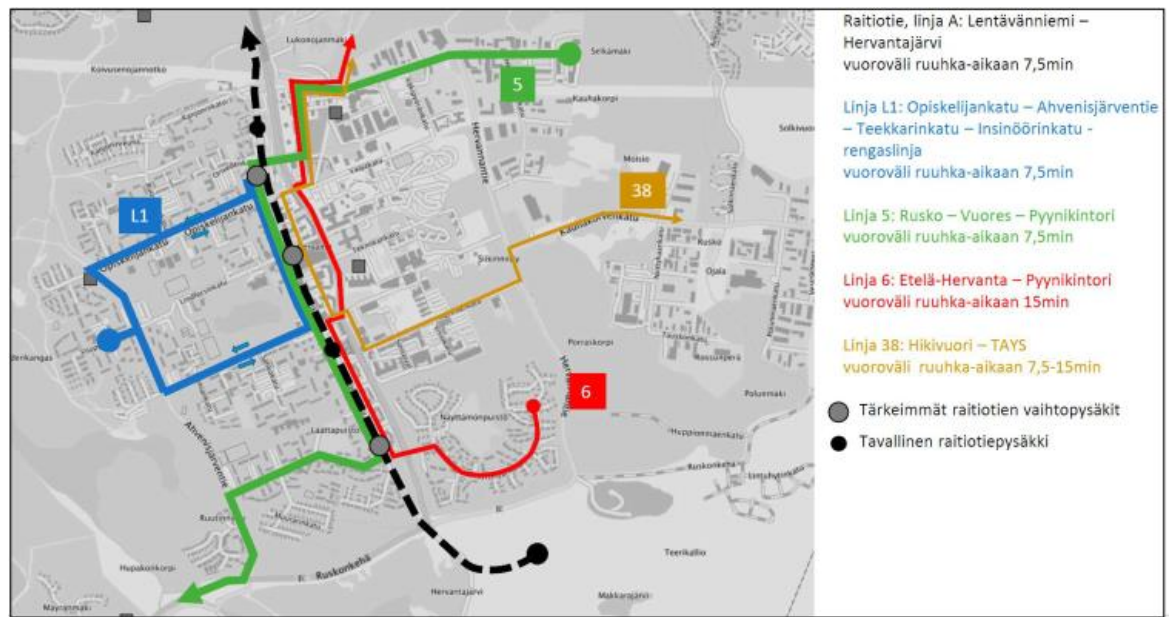
Merkittävin robottibussien toimintaa katalysoiva tekijä on Tampereen raitiotien rakentamispäätös. Raitiotien linjaus, päävaihtopysäkit sekä Hervannan maankäyttö on esitetty kuvassa 9. Hervannan kartasta voidaan todeta, että joukkoliikenteen runkolinjana toimivaa raitiotietä ympäröi säteeltään noin kilometrin laajuinen puskurivyöhyke, jonka alueella asuu valtaosa Hervannan väestöstä. Oppi- ja koulutuslaitokset sijaitsevat raitiotien pysäkeiltä 400-700m etäisyydellä.



**Kuva 9** Hervannan maankäyttö ja raitiotien reitti. (Pohjakartta Fonecta kartat 2016)

Raitiotien ensimmäinen osa rakennetaan välille Pyynikintori – Hervantajärvi aikataulun mukaisesti vuonna 2021 (Haukka et al. 2016, s. 46). Raitiotien myötä Hervannan aluekeskuksen bussilinjasto muuttuu suunnitelmien mukaisesti liityntälinjastopohjaiseksi (Haukka et al. 2016, s. 30). Tämä luo haasteita bussien aikataulutuksessa ja linjastosuunnittelussa mutta tarjoaa samalla mahdollisuuden hyödyntää robottibusseja osana alueellista joukkoliikennettä. Raitiotie tulee valmistumaan vasta neljän vuoden kuluttua rakentamisen aloittamisesta, joten myös robottibussien teknologialla on mahdollisuus kehittyä runsaasti tämän aikajakson aikana.

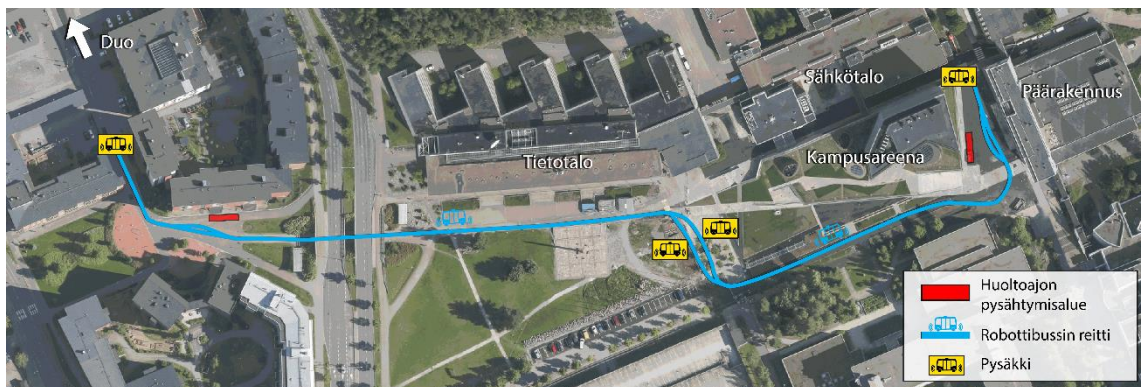
Raitiotie tulee liikennöimään ruuhka-aikana eli tuntien 7-9 ja 15-18 välillä 7,5 minuutin vuorovälillä. Hervantaan rakennetaan viisi pysäkkiä, joista kolmelle on kuvan 10 mukaisesti suunniteltu liityntäbussipysäkit. Liityntälinjastot tullaan aikatauluttamaan raitiotien mukaan (Haukka et al. 2016, s. 30).



**Kuva 10.** Raitiotien toteutussuunnitelman mukainen liityntälinjasto. (Seimelä 2016)

### 3.1.2 Robottibussikokeilu

Hervannan robottibussien kokeilualueella robottibussit operoivat Hervantakeskuksen ja Tampereen teknillisen ympäristön välisellä reitillä oheisen kuvan 11 mukaisesti. Kokeilua valmistellessa poikkeusluvut kokeilulle myönsi liikenteen turvallisuuskeskus Trafi. Tampereen kaupungilta puolestaan saatiin lupa poikkeusliikennejärjestelyihin sekä alueella operointiin. Muita lupia haettiin mm. yliopiston kiinteistöt omistavalta Suomen Yliopistokiinteistö Oy:ltä sekä Tampereen teknilliseltä yliopistolta. Robottibussien reitille asennettiin suunnitelmien pohjalta poikkeusliikennejärjestelyt, joiden tarkoitus oli informoida alueella kulkevia kokeilusta. Liikennejärjestelyiden lisäksi tieto noin kuukauden kestäneestä kokeilusta jaettiin yliopiston Intrapalvelussa, sosiaalisessa mediassa, paikallisissa taloyhtiöissä, pelastus- ja poliisilaitoksella sekä Aamulehdessä.



**Kuva 11.** Hervannan pilottireitti. (Tampere karttapalvelu 2016)

Hervannan case-alue poikkesi huomattavasti kokeilua edeltävistä alueista, sillä kampusalueen ytimessä liikkuvat robottibussit olivat jatkuvasti tekemisissä suuren ihmismäärän

kanssa. Kampusalueella jalankulku ja pyöräily ovat ainoa keino liikkua, jonka johdosta liikennejärjestelyillä ei pystytty velvoittamaan mitään, vaan vain ohjeistamaan. Jalankulun ja pyöräilyn lisäksi bussien reitillä kulkevat satunnaiset huoltoajot tuottivat aika ajoin omat ongelmansa.

Olosuhteet kokeilulle eivät olleet helpot, sillä lähestyvä talvi keskeytti ajot lähes kahdeksi viikoksi, jolloin ajopäiviä oli vain kymmenen kappaletta. Ajojen aikana sateisia hetkiä oli paljon mutta bussi ei välittänyt paikoin kovastakaan sateesta. Lumisade on kuitenkin bussin nykyisille LIDAR-sensoreille kohde, jonka ne tunnistavat esteeksi. Kokeilussa olosuhteiden lisäksi kampusalueen huonosti ohjeistettu huoltoajo tuotti aika ajoin ongelmia: operaattorit joutuivat ajojen aikana useasti kehottamaan pakettiautoja, takseja ja henkilöautoja siirtymään robottibussin reitiltä. Kokonaisuutena Hervannan kokeilu sujui kuitenkin verrattain hyvin. Ajo-olosuhteista jalankulun ja pyöräilijöiden ympäristössä saatiin runsaasti uutta tutkimustietoa, mikä tulee hyödyttämään liikenteen automaation jatkokehitysten suunnittelua.

### **3.1.3 Robottibussien vaikutuspotentiaali**

Hervanta on maankäytöltään hajanaista, mutta tästä huolimatta kerrostalovaltaisuus takaa korkean asukastiheyden. Nykyisiltä bussilinjastoilta matkat kotiovelle kasvavat paikoin jopa kilometriin, joten viimeisen ja ensimmäisen kilometrin ongelma on todellinen. Paikalliset asukkaat pyöräilevät sekä kävelevät joukkoliikennepysäkeille, mutta huonolla säällä tai raskaiden kantamusten kanssa nämä vaihtoehdot eivät houkuttele käyttämään joukkoliikennettä. Robottibusseilla on hyvä mahdollisuus täydentää Hervannan joukkoliikennettä ja tehdä siitä entistäkin houkuttelevampi vaihtoehto liikkumiselle yhdessä uuden raitiotien kanssa.

#### **Muut liikennejärjestelmän ominaisuudet**

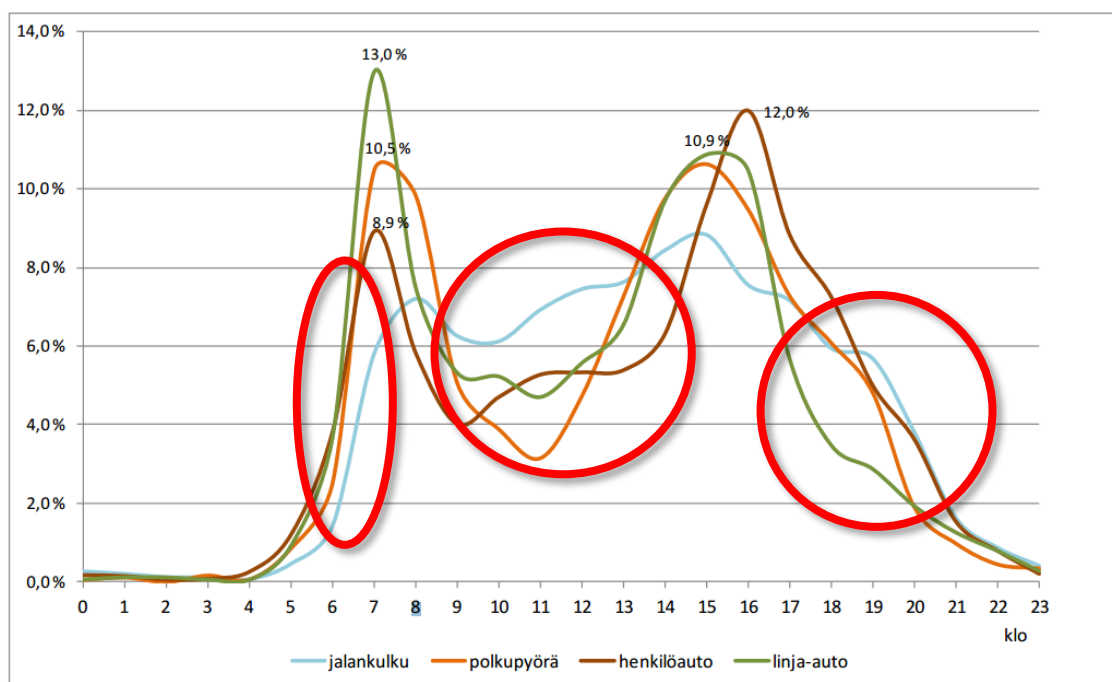
Muut liikennejärjestelmän ominaisuudet on joukkoliikenteen palvelutason osakokonaisuus, johon sisältyy linjaston kattavuus, sosiaalinen- ja alueellinen tasapuolisuus sekä linjaston yhdistävyys. Kyseisiä tekijöitä tarkasteltaessa keskitytään laajempaan kokonaisuuteen ja tarkastellaan robottibusseja osana joukkoliikennejärjestelmää.

Linjaston kattavuus on joukkoliikenteen houkuttelevuuden kannalta merkittävä tekijä ja se kuvaa eri alueiden joukkoliikenteellä saavutettavuutta eri vuorokaudenaikoina ja viikonpäivinä. Joukkoliikenteelle on ongelmallista, että noin kolmannes liikenteen kysynnästä kohdistuu arkisin klo 7-9 ja 15-18 välille, jolloin kapasiteettia tulee lisätä. Lisäty kalusto jää ruuhkatuntien ulkopuolella vajaakäytölle, mikä on liikennöitsijälle kannattamatonta ja voi nostaa ruuhkatuntien hintoja tappion kattamiseksi. (Kalenoja & Tiikkaja 2013) Pienillä robottibusseilla on mahdollisuus ajallisesti kattavampaan liikennöintiin. Halvan käyttövoiman ja kuljettajakustannuksissa saatujen säästöjen myötä sähköisten



pikkubussien liikennöinti on perustellusti halvempaa, mikä voi mahdollistaa ympärivuorokautisen operoinnin ja operoinnin erityisesti ruuhkapiikkien ulkopuolella. Robottibussien kustannusrakennetta tutkitaan tarkemmin luvussa viisi.

Pienen kapasiteettinsa vuoksi robottibusseilla ei voida korvata suurinta osaa nykyisistä bussilinjastoista, vaan ne tarjoavat mahdollisuuden täydentää joukkoliikennettä aikoina, jolloin ison kapasiteetin joukkoliikenne ei ole kannattavaa tai kalusto on vajaakäytöllä. Kuvassa 12 on esitetty punaisella merkittynä ajankohdat, jolloin robottibussit voisivat operoida kattavasti käyttäjämäärien ollessa matalampia. Last mile -liikenteelle on luonnollisesti myös tarve ruuhka-aikoina mutta ongelmana ovat suuret käyttäjämäärät verrattain pieneen robottibussien kuljetuskapasiteettiin. Tämä ongelma voitaisiin ratkaista automaattisesti kysyntään mukautuvalla bussikapasiteetilla, mikä mahdollistuisi kattavammalla käyttäjädatan keräämisellä sekä kiinteisiin linjoihin perustuvalla kutsuohjautuvuudella. Toisaalta verrattain lyhyillä liityntälinjoilla matkustajamäärät ovat hillitympiä, jolloin kattavampi liikennöinti robottibusseilla olisi täysin mahdollista.



**Kuva 12.** Eri kulkutavoilla tehtyjen matkojen tuntivaihtelu Tampereen seudun liikennetutkimuksessa. Punaisella ympyröity robottibussien potentiaalisimmat vaikutuskohteet. (Kalenaja & Tiikkaja 2013)

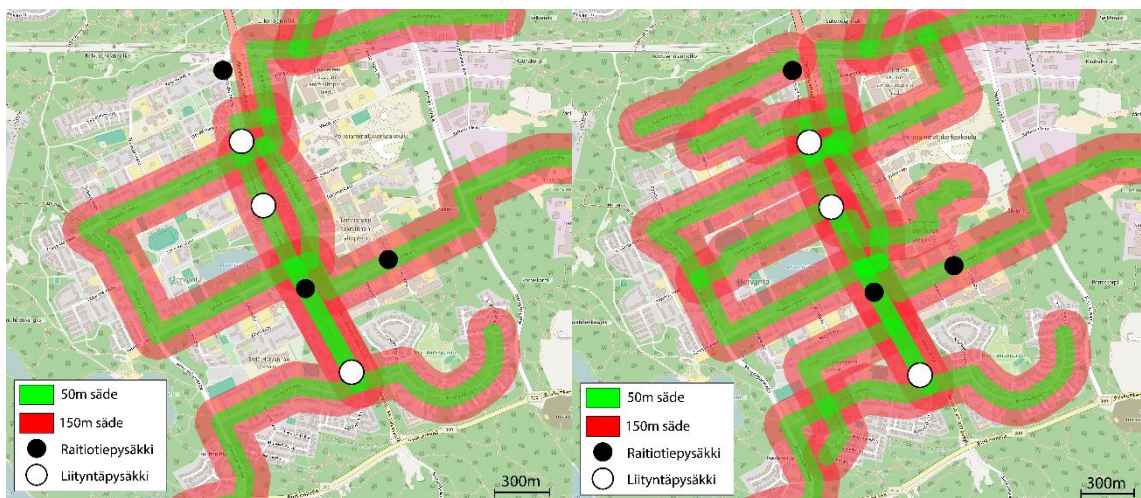
Robottibussien eräs potentiaalinen käyttökohde on muun joukkoliikenteen ulkopuolelle jäävät alueet, kuten esimerkiksi omakotitaloalueet, jotka ovat usein muodostuneet etäämälle joukkoliikenteen reiteistä. Robottibussit voivat siis luoda täysin uutta kysyntää liikennöimällä reittejä, jonne ei ison kapasiteetin liikennevälineillä pääse tai reitin operointi olisi taloudellisesti epäkannattavaa.

Alueellisella tasapuolisuudella tarkoitetaan sitä, että alueen sisällä tulisi olla samanveroiset mahdollisuudet käyttää joukkoliikennettä. Nykytilassaan Hervanta ei ole alueellisesti

tasapuolinen, vaan kauempana runkolinjoista asuvat ihmiset eivät voi hyödyntää joukkoliikennettä lähempänä asuvien tavalla. Matkan pituuteen ei robottibusseilla voida merkittävästi vaikuttaa, mutta joukkoliikenteen ulottuvuutta voidaan parantaa tuomalla joukkoliikenne lähemmäksi ihmisiä. Tämän mahdollistavat robottibussien kyky liikennöidä kadulla autojen seassa sekä jalankulun ja pyöräilyn isoimmilla väylillä. Muun muassa Post-Bus Switzerland (2016) on CityMobil2:n tapaan kokeillut ajoneuvojaan jalankulkijoiden seassa autottomissa ympäristöissä, ja myös Hervannan kokeilu on keskittynyt tähän aspektiin.

Hervannassa jalankulun ja pyöräilyn väylät ovat sijoittuneet kulkemaan läheltä asuntoja ja yhdistyvät lähes poikkeuksetta Insinöörinkatuun. Väylät ovat suoria, 4,5 metriä leveitä ja niillä on vähän risteävää liikennettä, joten robottibusseilla liikennöinti niillä on teknisesti mahdollista. Jatkotutkimuksissa on kuitenkin syytä selvittää lainsäädännöllinen näkökulma jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden seassa liikkumiseen. Santamalan (2016) mukaan robottibussit voisivat olla täysin uusi ajoneuvoluokka, joka olisi joustava vaihtoehto liikkumiselle. Toiminnan tulisi kuitenkin olla pysyväluontoista, jotta ihmiset kerkeävät tottua robottibusseihin. Hankkeen kokeiluluontoisuuden vuoksi pysyviä ratkaisuja ei kuitenkaan voida vielä tehdä, mutta pilotissa tarkastellaan jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden reagointia robottibussiin ja päinvastoin, minkä myötä saadaan tärkeää tutkimustietoa sopivimmista ympäristöistä.

Jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden reitit kulkevat Hervannassa myös läheltä oppilaitoksia, joilta matka raitiovaunulle on 400-700 metriä näitä reittejä pitkin; autoteitä pitkin matkat ovat poikkeuksetta pidempiä ja edellyttävät liikennöintiä liikennevaloissa ja kiertoliittymissä. Erilaisilla väylillä kulkeminen voisi tarjota huomattavasti kattavamman liityntälinjaston Hervannassa, joka tarjoaisi lyhyemmät kävelymatkat lähes koko alueella, mikä voidaan todeta kuvasta 13. Kattavamman linjaston mahdollistaisivat myös alentuneet operointikustannukset ja pienemmän kapasiteetin yksiköt.



**Kuva 13.** Joukkoliikenteen kattavuus Hervannassa ennen robottibusseja (vas.) ja linjas-  
topohjaisella robottibussiratkaisulla (oik.). (karttapohja: Open Street Maps 2016)

Laajempi joukkoliikenteen kattavuus korostaa alueellisen tasapuolisuuden lisäksi entisestään joukkoliikenteen sosiaalista tasapuolisuutta. Robottibussit tuovat tavallisen joukkoliikenteen liikuntarajoitteisten, lapsien ja seniorien kotiovien lähelle, joita on Hervannassa runsaasti. Joukkoliikennematkan tulee olla lähtöpisteestä päätepisteeseensä esteettön ja vaivaton kokemus, jotta joukkoliikenne olisi varteenotettava vaihtoehto henkilöautolle ja taksipalveluille. Robottibussit mahdollistavat ensimmäisen ja viimeisen kilometrin esteettömyyden, jos linjastot suunnitellaan kulkemaan mahdollisimman läheltä käyttäjryhmien kotiovia ja asiointipaikkoja. Robottibussit saattavat toisaalta omistusmallistaan riippuen nostaa joukkoliikennematkan hintaa, mikä osaltaan vähentäisi sosiaalista tasa-arvoisuutta. Luvussa 4 on tarkoitus selvittää tätä käyttäjien maksuhalukkuutta ja mieltymyksiä robottibussien käyttötarkoituksista.

Viimeisen liikennejärjestelmän muiden ominaisuuksien palvelutasotekijä on linjaston yhdistävyys, jolla tarkoitetaan joukkoliikenteen kykyä yhdistää eri alueita ja liikennemuoja toisiinsa (Pesonen et al. 2006). Robottibusseilla on linjaston yhdistävyyteen positiivinen vaikutus robottibussien toimiessa liityntäliikenteenä raitiovaunulle. Ne myös kytkävät Hervannan alueet paremmin toisiinsa sekä Hervannan raitiotietä ympäröiviin alueisiin, sillä joukkoliikenneverkko on kattavuudeltaan entistä parempi, kuten kuvasta 13 todettiin.

### **Matkan laatutekijät**

Matkan laatu on subjektiivinen käsite, joka kertoo siitä, miten matkustaja kokee matkansa kokonaisuutena suhteessa odotuksiinsa. Laatu muodostuu matkustamisen mukavuudesta ja matkan helppoudesta. Pesonen et al. (2006) jakavat matkan laatutekijät täsmällisyyteen, turvallisuuteen, matkustusmukavuuteen, informaatioon sekä lippu- ja maksujärjestelmään.

Matkan laatutekijöistä täsmällisyys kuvaa sitä, poikkeako todellinen aikataulu ilmoitusta (Pesonen et al. 2006). Olettaen, että robottibussit voisivat kulkea jalankulun ja pyöräilyn väylillä tilan sen salliessa, parantaisi tämä merkittävästi robottibussien täsmällisyyttä. Hervannan jalankulun ja pyöräilyn väylillä muita ajoneuvoja ei satunnaisia huoltoajoja lukuun ottamatta ole ja reiteillä ei ole autoteillä epätäsmällisyyttä tuottavia liikennevaloja. Robottibusseihin kulku on myös nopeaa ja vaivatonta leveän sivuoven myötä, mutta ramppia tarvittaessa operointi on hitaampaa. Lyhyet liikennöintimatkat vähentävät myös aikatauluvaihteluita huomattavasti. Kokonaisuutta katsottaessa robottibussit tarjoavat paremman täsmällisyyden myös raitiovaunuun matkustaville, sillä busseissa tarjottava matkustajainformaatio voisi kertoa raitiovaunun saapumisajan matkustajille, ja bussit itsessään olisi aikataulutettu raitiovaunun mukaan.

Matkan turvallisuus koostuu liikenneturvallisuudesta sekä koetusta eli henkilökohtaisesta turvallisuudesta (Pesonen et al. 2006). Robottibusseilla inhimilliset virheet poistuvat kulkettajan myötä: järjestelmä ei väsy, se ei aja ylinopeutta ja se noudattaa liikennesääntöjä.

Nykytilassaan teknologia reagoi oikein normaaleissa liikennetilanteissa, mutta toimiakseen poikkeustilanteissa oikealla tavalla tulee järjestelmälle opettaa uusia asioita. Hervannassa jalankulun ja pyöräilyn väylällä toimiminen sujui ilman suurempia ongelmia ja robottibussin liikennöinnistä ei aiheutunut liikenneturvallisuudelle haittaa. Herkälle asetut sensorit reagoivat nykytilassaan jopa liian herkästi esteisiin, mikä aiheutti kokeilussa muutamia hätäpysähdyksiä jalankulkijan tai pyöräilijän kulkiessa liian läheltä bussia. Ihmiset testasivat tarkoituksella bussien luotettavuutta kulkemalla hyvin läheltä bussia tai jopa hyppäämällä sen eteen. Robottibussien vaikutukset liikenneturvallisuuteen ovat siis varsin kaksijakoisia ja vaativat jatkotutkimuksia.

Koettu turvallisuus puolestaan on kyydissä olevien matkustajien kokema turvallisuuden tunne. Robottibussien operaattoreilta saadun tiedon mukaan kokeilun matkustajat olivat kyydissä yllättävän rentoutuneita ja bussiin suhtauduttiin muutenkin erittäin avoimesti. Myös kyselytutkimusten mukaan asiakkaat eivät pelänneet ja moni koki robottibussin ajonopeuden sopivaksi. Mainittaessa bussin maksinopeuden olevan 40 km/h, monet totesivat sen olevan vielä liian paljon robottibussille. Operaattoreiden haastattelun perusteella myös koettu turvallisuus on vielä epäselvää, sillä operaattorin läsnäolo ja vastuu bussista ovat varmasti rauhoittaneet monien mieliä. Täysin kuljettajattomiin robottibusseihin ihmiset eivät välttämättä ole vielä valmiita, joten SOHJOA-projektin kaltaiset kokeilut ovat erittäin tervetulleita perehdytettäessä ihmisiä automaattisiin ajoneuvoihin.

Koetun turvallisuuden lisäksi matkustusmukavuus on merkittävä tekijä joukkoliikenteen houkuttelevuuden kannalta, johon robottibusseilla voidaan vaikuttaa positiivisesti. Erityisesti huonolla säällä tasaisesti kulkevan ja hiljaisen robottibussin käyttö on miellyttävää. Lukuisat robottibusseissa matkustaneet ihmiset ovat todenneet operaattoreille matkustamisen olevan mukavaa, ja Hervannassa tehdyn käyttäjäkyselyn tulosten perusteella voidaan myös todeta näin. Mukavuus on robottibussien yksi tärkeimpiä ominaisuuksia, ja jatkosuunnitelmissa tätä tulisi pyrkiä kehittämään edelleen.

Viimeisinä matkan laatutekijöinä ovat informaatio sekä lippu- ja taksajärjestelmä. Tärkeintä olisi, että informaatio on yksinkertaisesti esitettyä ja helposti saatavilla. Toisekseen lippujärjestelmän tulee olla yksiselitteinen ja sosiaalisesti tasapuolinen. Robottibussit voisivat parantaa informaation jakamista tarjoten sekä bussin sisällä ja ulkopuolella Tampereen joukkoliikenteeseen liittyvää hyödyllistä tietoa. Santamalan (2016) mukaan maksukeinolla puolestaan ei sinänsä ole väliä, vaan vain ihmisen tunnistamisella luotettavasti on merkitystä. Tässä vaiheessa ei voida vielä kuitenkaan sanoa varmasti, minkälaisia konkreettisia vaikutuksia robottibusseilla olisi lippu- ja taksajärjestelmään. Osana MaaS-tyyppistä ratkaisua robottibussit voisivat motivoida tuottamaan matkaketjuja sujuvoittavia järjestelmiä, mutta erillisenä maksualustana robottibussi sekavoittaisi tilannetta.

## Matka-aika

Matka-aika on suhteellista ja sen on todettu vaihtelevan oleellisesti riippuen matkan eri tarkoituksista ja matkustajatyypeistä (Lehto 2012). Esimerkiksi työmatkaan käytetty aika voidaan kokea pidemmäksi kuin vapaa-ajan matka, koska työmatkalla kiire vaikuttaa ajan käsittämiseen eri tavalla. Matka-aika käsittää odotteluajan, kävelyajan, odotusajan, ajoajan ja vaihtoajan, joiden painoarvoille on yleisesti määritetty luvun 2 kuvassa 3 esitetyt kertoimet.

Odottelu-aika on aika, jonka matkustajan täytyy odotella lähtöpisteessään ennen lähtöä. Tämä aika on merkittävä tekijä joukkoliikenteen houkuttelevuudessa, sillä se voi joillain ihmisillä lisätä koettua matka-aikaa huomattavasti (Pesonen et al. 2006). Robottibussit voivat lyhentää tätä valmistumisaikaa tarjoamalla reaaliaikaisen sijaintitiedon ihmisille osana matkustajainformaatiota sekä aikatauluttamalla itsensä raitiovaunun kanssa. Robottibussien liikennöintireitit Hervannassa ovat lisäksi lyhyitä, mikä johtaa pienempään aikavaihteluun. Samoilla perusteluilla robottibussin odotusaika sekä raitiotiepysäkillä vaihto-aika lyhenee. Vuonna 2017 projektissa tullaan pilotoimaan järjestelmää, jolla asiakas voi tilata robottibussin lähimmälle pysäkillen, mikä tulee todennäköisesti vähentämään odottelu-aikaa huomattavasti ja parantamaan joukkoliikenteen ennustettavuutta.

Kävelyajalla osana matka-aikaa tarkoitetaan matkan lopussa, alussa tai vaihdon aikana kuluva-aikaa (Pesonen et al. 2006, s. 47). Hervannassa robottibusseilla tätä kävely-aikaa voidaan lyhentää merkittävästi, sillä bussit pääsevät jalankulun ja pyöräilyn reittejä pitkin raitiotien pysäkillä aivan laiturin viereen. Robottibussien pienestä koosta johtuen isoihin liityntäpysäkkiratkaisuihin ei ole tarvetta. Toisessa päässä matkaa kävelymatka ja samalla kävelyyn kulutettu aika lyhenee, mutta linjastoihin perustuvalla ratkaisulla kävelyä ei voida täysin poistaa yhtälöstä. Kotioville pääseminen asiakkaan haluamaan aikaan tulee vaatimaan kutsupohjaisen ratkaisun, joka ei ole vielä lähivuosien ratkaisumalli.

Ajo-aika palvelutasotekijänä kuvaa joukkoliikennevälineessä kulutettua aikaa sisältäen nousut, poistumiset ja pysähdykset (Pesonen et al. 2006, s. 47). Robottibussit tulevat luonnollisesti kasvattamaan ajo-aikaa, mikäli matkustaja olisi muuten kulkenut kävellen tai pyörällä. Last mile-liikennöinnissä ajo-aika tulee kuitenkin määritellä hieman eri tavalla, sillä robottibussi on vartenotettava vaihtoehto kaikille kulkumuodoille. Onkin syytä tarkastella viimeisen ja ensimmäisen kilometrin matka-aikaa kulkumuotokohtaisesti.

Taulukossa 4 on vertailtu kolmelta raitiotiepysäkiltä lähtevien reittien matka-aikoja eri kulkumuodoilla. Polkupyörien keskinopeutena on käytetty 16 km/h (Copenhagen 2010) ja jalankulun 6 km/h, joka arvioitiin kokeilujen aikana. Auton nopeus perustuu Here-navigointiohjelman (2016) tietoihin. Arvio robottibussien 15 km/h keskinopeudesta perustuu kansainvälisissä kokeiluissa käytettyihin nopeuksiin (PostBus 2016; RAC 2016) ja



lähitulevaisuuden arvioon. Robottibussin liikennöintiaikoihin sisältyvät mahdolliset pysähtymisajat, jotka Hervannan kokeilujen perusteella olivat keskimäärin 30 sekuntia. 500m matkalla välipysähdyksiä ei olisi, mutta jo kilometrin matkalla olisi vähintään yksi pysäkki päätepestien välillä. Myös mahdolliset muista liikkujista johtuvat hidastelut voivat pidentää robottibussien matka-aikaa entisestään. Autojen matka-aikoihin on lisätty autolle ja autolta pois kävelemisen aika.

**Taulukko 4.** Kokonaismatka-aikojen vertailu kolmella Hervannan reitillä.

	<i>Hervantakeskus - Tekniikantornit</i>		<i>Mikontalo - Etelä- Hervannan koulu</i>		<i>Insinöörinkatu - Kanjonin koulu</i>	
<i>Polkupyörä (16 km/h)</i>	950m	3,6 min	500m	1,9 min	500m	1,9 min
<i>Jalankulku (6 km/h)</i>	950m	9,5 min	500m	5min	500m	5 min
<i>Henkilöauto (Here-nopeudet)</i>	1,2km	5 min	700m	3 min	900m	3min
<i>Robottibussi (15 km/h)</i>	950m	6,5 min	500m	3min	500m	3min

Robottibussit eivät matka-ajallaan pysty kilpailemaan kaikkien kulkumuotojen kanssa, mutta niiden hyödyt painottuvat mukavuuden ja käytännöllisyyden puolelle. Raitiotiepysäkin vierestä lähtevä robottibussi voi olla painavien kantamusten kanssa tai huonolla säällä erittäin varteenotettava vaihtoehto, mikä vaikuttaa pitkällä tähtäimellä positiivisesti joukkoliikenteen houkuttelevuuteen. Huomattavaa kuitenkin on, että nykytilassaan robottibussien herkäksi säädetyt sensorit hidastavat nopeuttaan useista eri bussin lähelle tulevista objekteista; lähitulevaisuudessa sensorien herkkyyttä bussien ajolinjan ulkopuolella voitaneen kuitenkin vähentää.

### **Tarjonnan osatekijät**

Tarjonnan osatekijät on palvelutasotekijöiden kokonaisuus, jonka arvot ovat pääsääntöisesti numeerisesti mitattavissa ja vertailtavissa. Pesonen et al. (2006, s. 15) luokittelevat vuorovälin, kävelymatkan, liikennöintiajan, vaihtojen lukumäärän, valinnanvapauden, hallittavuuden ja aikataulujen säännöllisyyden tarjonnan osatekijöiksi. Tekijöiden kvantitatiivisuuden sekä robottibussien kehityskaaren alkuvaiheesta johtuen tekijöitä ei tässä työssä voida numeerisesti vertailla, vaan keskitytään laadulliseen arviointiin.

Vuoroväli ja liikennöintiaika ovat tärkeitä liikennetarjonnan mittareita, jotka kertovat kuinka usein joukkoliikenteen lähtöjä on ja millä aikavälillä vuoro liikennöi (Pesonen et al. 2006). Robottibussien vuoroväliin tulevat vaikuttamaan olennaisesti käyttäjämäärät sekä raitiotien aikataulut. Liikennöintiaikaa voidaan todennäköisesti kasvattaa robottibusseilla, sillä lyhyiden reittien ja pienempien käyttäjämäärien johdosta yhden reitin kierrolla voisi operoida useampi kulkuneuvo samanaikaisesti. Sähköinen robottibussi voi operoida nykyisellä akkukapasiteetilla 8 tuntia yhdellä latauksella, jonka jälkeen toinen robottibussi voitaisiin ottaa käyttöön toisen ohjautuessa latauspisteelle, joita voisi Hervannassa olla lyhyiden etäisyyksien ansiosta vain yksi. Toisaalta induktiolatauksen yleistyessä yksittäinen bussi voisi latautua myös reitin päätepisteissä. Robottibusseilla on siis mahdollisuus tasaiseen ympärivuorokautiseen operointiin, sillä robottibussit eivät väsy eikä ilta- ja yöisiä tarvitse maksaa kuin operaattorille.

Kävelymatkaan robottibusseilla on lyhentävä vaikutus, joka todettiin jo kävelyajan vaikutuksia tutkittaessa. Suurin osa kävelymatkasta voidaan korvata robottibussilla, ja matkan toisessa päässä kävelyn määrä voidaan minimoida linjastosuunnittelulla. Esimerkiksi Hervannan kouluille robottibussilla pääsee aivan koulujen viereen sekä raitiovaunupysäkkien välittömään läheisyyteen ilman muutoksia katurakenteessa tai maankäytössä. Robottibussilla liikkuminen tulee teoriassa lisäämän vaihtojen määrää joukkoliikennematkalla, mutta vaihtoa ei välttämättä koeta samalla tavalla, jos matka olisi tehty vaihtoehtoisesti kävellen tai pyörällä.

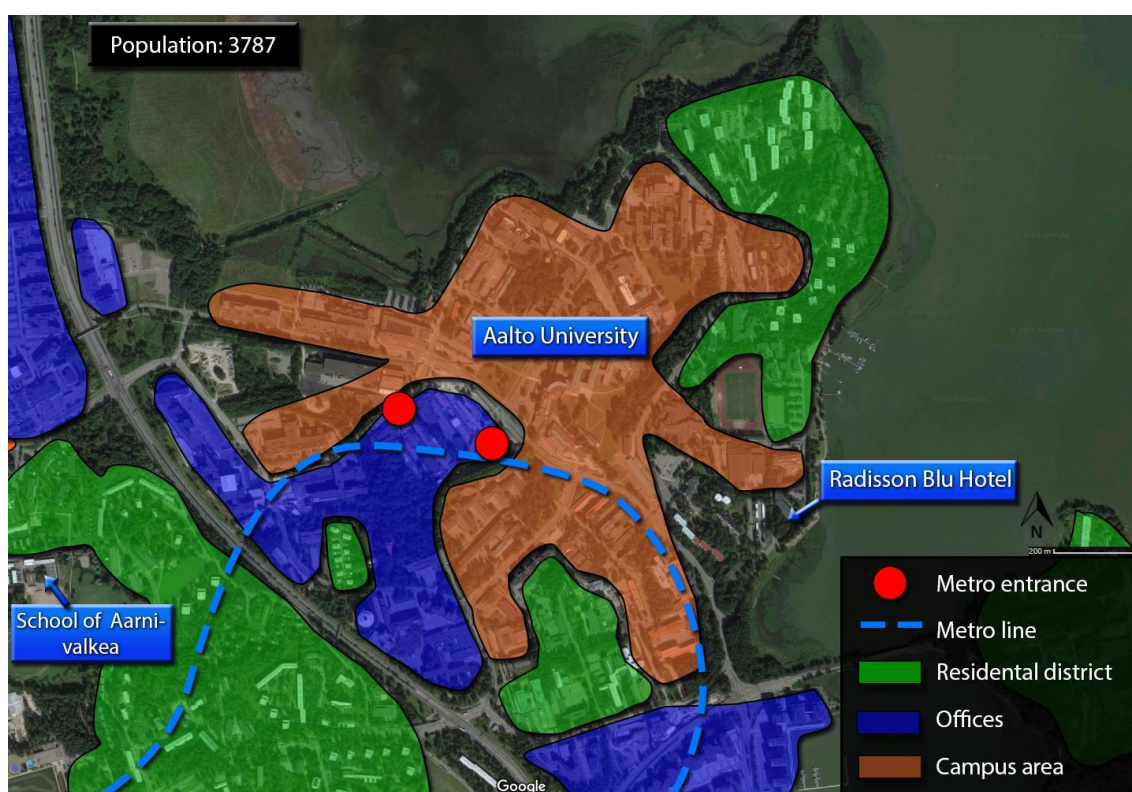
Tarjonnan osatekijöistä valinnanvapaus ja hallittavuus muodostuvat hyvin pitkälti muiden palvelutasotekijöiden kokonaisuudesta. Valinnanvapaus kuvaa joukkoliikennejärjestelmän joustavuutta eli vapautta valita kulkutapa, reitti, maksutapa ja matkustusajankohta. (Pesonen et al. 2006) Robottibussit tuovat yhden uuden vaihtoehdon joukkoliikenteen viimeisille kilometrille, mikä luonnollisesti lisää valinnanvapautta. Toisaalta reitit ovat ennen dynaamisen kutsuohjautuvan teknologian kehittymistä vakioita ja samoin matkustusajankohdat. Hervannassa tämä tarkoittaa sitä, että matkustajalla olisi lähes kaikkialta mahdollisuus valita kulkumuotonsa. Esimerkiksi hyvällä säällä matkustaja valitsisi pyöräilyn, mutta sateen yllättäessä robottibussiin on hyvä turvautua.

Joukkoliikenteen hallittavuus kuvastaa kuinka varma matkustaja voi olla matkan toteutumisesta. Tähän vaikuttavat erityisesti joukkoliikennejärjestelmän selkeys, reittien sijainnit, vaihtomahdollisuudet, aikataulut sekä maksujärjestelmä. (Pesonen et al. 2006) Raitiovaunu tuo stabiiliteettia joukkoliikenteen runkolinjastoon, ja raitiotiemäisesti virtuaalikiskoilla toimivat robottibussit täydentävät tätä ratkaisua. Muissa mainituissa tekijöissä nähdään robottibussien myötä pääosin positiivisia vaikutuksia, jonka pohjalta joukkoliikenteen hallittavuuteenkin voidaan todeta robottibusseilla olevan positiivisia vaikutuksia.

## 3.2 Espoo, Otaniemi

### 3.2.1 Nykytila ja suunnitelman mukainen joukkoliikennejärjestelmä

Espoon Otaniemi sijaitsee Espoon itäpuolella Laajalahden äärellä. Hieman yli 3700 ihmisen kaupunginosa on opiskelija-alue, jonka väestöstä 57 % on opiskelijoita ja jopa 94,2 % asukkaista 16-64 vuotiaita. Valtaosan alueesta kattaa tekniikkaan, kauppatieteisiin ja taiteeseen keskittyvän Aalto-yliopiston kampusalue, kuten maankäyttöä käsittelevästä kuvasta 14 nähdään. Yliopistolla opiskelee noin 20 000 opiskelijaa ja se työllistää 4 500 ihmistä. (Lehtinen 2016)

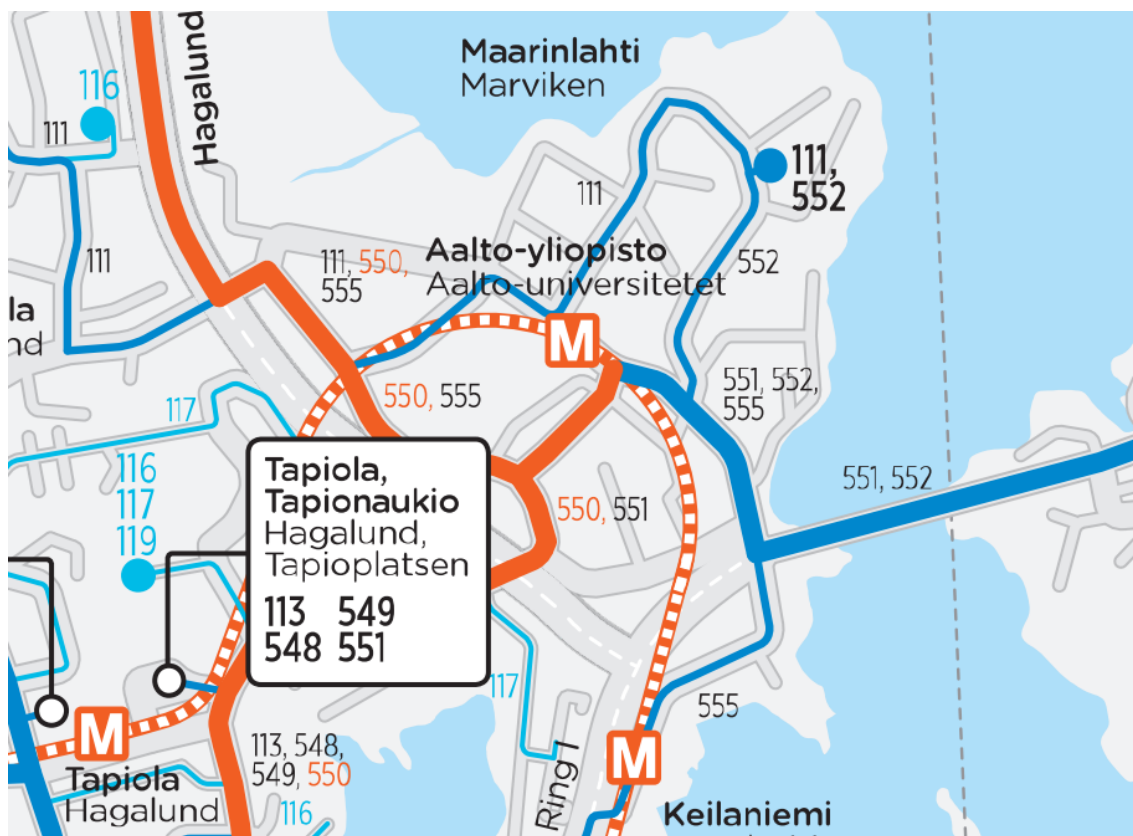


**Kuva 14.** Otaniemen maankäyttö ja joukkoliikenteen runkolinja. (karttapohja: Google Maps 2016)

Otaniemen rakennuskannasta lähes 90% on toimitilarakennuksia, joista suurin osa on Aalto-yliopiston käytössä. Alueella sijaitsee myös Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT, yksi hotelli sekä Otaniemen urheilupuisto. Alueen asuinrakennukset ovat opiskelijavaltaisia kerrostaloja. Pinta-alaltaan Otaniemi on noin 5,2 neliökilometrin laajuinen eli sen asukastiheys on 730 as/km<sup>2</sup>, ollen näin huomattavasti Hervannan vastaavaa lukua pienempi. Suurin osa alueen joukkoliikenteen käyttäjistä asuu muualla ja kulkee vain työ- tai opiskelumatkansa joukkoliikenteellä. (Lehtinen 2016)

Länsimetron valmistuttua alueen saavutettavuus joukkoliikenteellä paranee huomattavasti. Aalto-yliopiston metroasemalle odotetaan runsaasti pääosin opiskelijoista koostuvaa liikennettä, joiden tulisi päästä mahdollisimman vaivattomasti metroasemalta kampuksen eri tiloihin. Alueen laajuuden vuoksi syntyy väistämättä tarve last mile -liikennöinnille, sillä etäisyydet metroasemalta kauimpiin kampusrakennuksiin ovat 500-800m. Haasteena on myös melko hajallaan oleva kampusalue, jonka myötä pidempiäkin kävelymatkoja tulee tehdä päivittäin. Lisäksi Otaniemen kärjessä asuvien ihmisten matka metroasemalle on pisimmillään 1,2km.

Länsimetron valmistumisen myötä HSL:n bussiliikenne muuttuu liityntälinjastopohjaiseksi. Liityntälinjat syöttävät liikennettä suuremmille runkolinjoille eli metroon ja bussirunkolinjalle 550. Suunnitelmien mukaisesti Otaniemen läpi tulevat liikennöimään linja 111 ja linja 552; linja 552:n kääntyy kuitenkin takaisin itää kohti Otakaaren pohjoispäässä. Otaniemen metropysäkillä syöttävät liikennettä myös kuvan 15 mukaisesti linjat 551 ja 555. (HSL 2016)



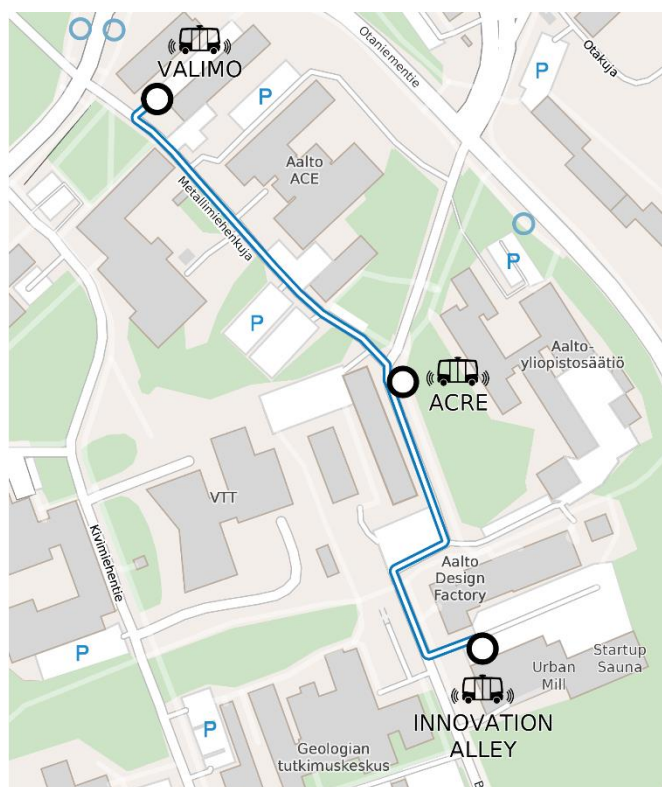
**Kuva 15.** Suunnitelmien mukainen Otaniemen liityntälinjasto (HSL 2016)

### 3.2.2 Robottibussikokeilu

Otaniemen robottibussikokeilu järjestettiin 4.10-24.10 Aalto-yliopiston alueella. Ope-  
rointireitti kulki Desing factoryn ja Valimon opiskelijaravintolan välillä oheisen kuvan 16 mukaisella reitillä. Kokeilusta lähetettiin reittikuvaus Trafille, joka myönsi robottibus-

sikokeilulle poikkeusluvan. Muut lupajärjestelyt hoidettiin Espoon kaupungin liikenteen-hallintapäällikön kautta, joka myös hyväksyi kaikki poikkeavat liikennejärjestelyt pois lukien Senaatti-Kiinteistöiltä ja Aalto-yliopistokiinteistöiltä haetut luvat.

Liikennöity reitti kulki kampusalueella autotiellä, jolla liikennemäärät olivat vähäiset ja ajonopeudet alhaisia. Päätepysäkit sijaitsivat sisäpihoilla ja pysäkinä toimi yksittäinen pysäköintiruutu. Alueen risteävää autoliikennettä ohjattiin muun muassa liikennevaloilla, ja reitille asetettavilla liikennemerkeillä pyrittiin tiedottamaan robottibusseista alueella



**Kuva 16.** Otaniemen robottibussikokeilun reitti.  
(karttapohja OpenStreetMap 2016)

liikkuvia ihmisiä. Kadunvarsipysäköinti jouduttiin kokeilun ajaksi kieltämään, mutta on-neksi autoille saatiin korvaava pysäköintialue kadun vierestä. Alueella voimassa ollut aluepysäköintikielto helpotti kokeilun pysäköinnin noudattamista kokonaisuudessaan. Vaikka alueen mahdollisia tietöitä ja rakennustyömaita oli etukäteen selvitetty, oli yh-dellä reitin pysäkeistä työmaa, joka esti ensimmäisellä viikolla pysäkin käytön.

Olosuhteiltaan Otaniemen reitti oli verrattain rauhallinen. Jalankulkijoita oli vähän ja he kulkivat pääsääntöisesti jalkakäytävällä; harvakseltaan kulkevat pyöräilijät puolestaan autotiellä. Liikennevalo-ohjaus ei odotusten mukaisesti tehonnut hyvin jalankulkijoihin ja pyöräilijöihin, mutta tästä koitui hyvin vähän ongelmatilanteita. Kokonaisuutena Ota-niemen kokeilu meni mainiosti: ihmiset tottuivat robottibussin liikkumiseen ja autoilijat suhtautuivat siihen varoen. Satunnaiset väärinpysäköidyt autot tuottivat paikoin ongel-mia, mutta kuljettajat saatiin aina nopeasti tavoitettua ja autot siirrettyä. Kadulla syksyn

myötä lentelevät lehdet tuottivat sensoreille satunnaisesti ongelmia, joista osa johti hätäpysähdyksiin.

### 3.2.3 Robottibussien vaikutuspotentiaali

Otaniemessä Hervannan tapaan syöttöliikenteen tehostamistoimille on tarvetta, sillä Länsi-Metron valmistuttua viimeinen kilometri muodostuu haasteelliseksi kampuksen opiskelijoille ja niemen reunamilla asuville ihmisille. Liityntälinjastosuunnitelman mukainen linjasto tulee takaamaan hyvän joukkoliikenteen kattavuuden, mutta Otaniemen sisäinen liikenne tulee jatkumaan haasteellisena. Robottibusseilla on mahdollisuus parantaa tätä alueen sisäisen liikenteen tarvetta ja tarvittaessa täydentää alueen joukkoliikenteen kattavuutta kustannustehokkaasti.

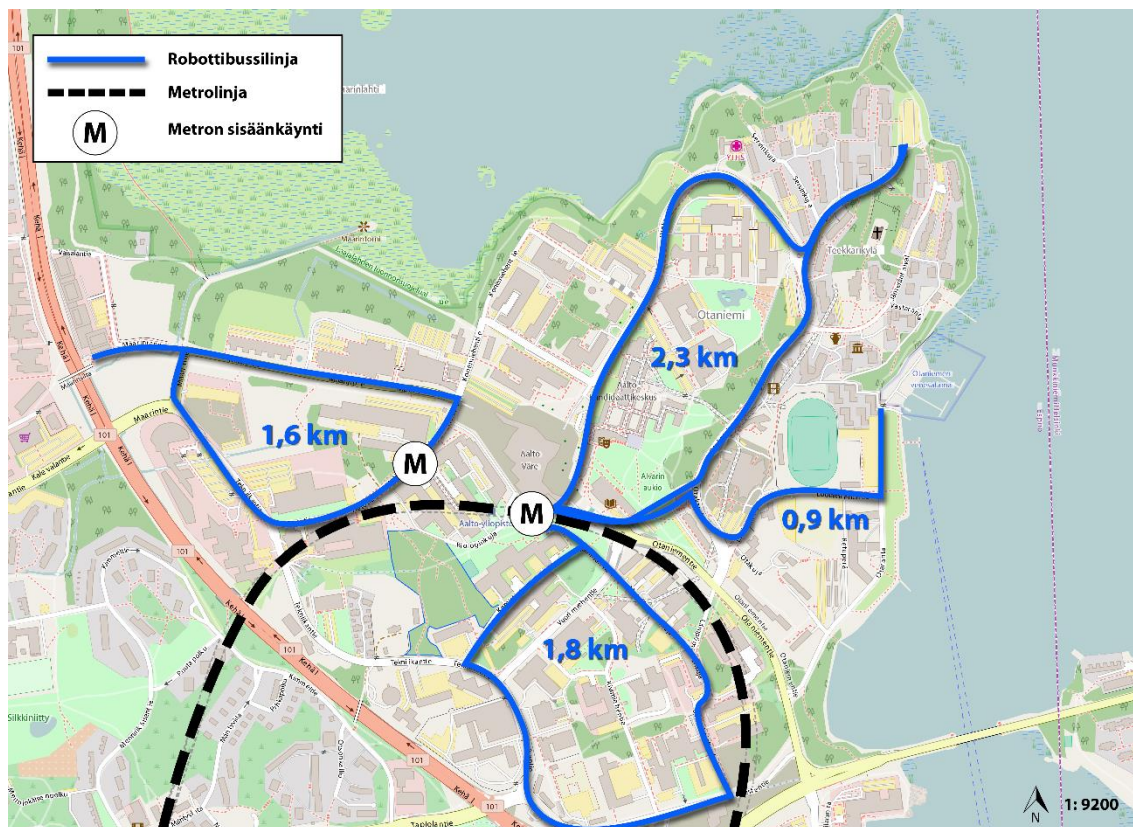
Hervannassa robottibussien vaikutuspotentiaalin tunnistamisen yhteydessä palvelutasotekijät selitettiin auki, joten Otaniemen ja Hernesaaren tapauksissa tämä ei ole tarpeellista. Luvussa selvitetään robottibussien vaikutuspotentiaalia Otaniemen ympäristön näkökulmasta, mitä lähdetään tarkastelemaan niiden palvelutasotekijöiden kautta, joihin vaikutukset poikkeavat kahdesta muusta kokeilualueesta.

#### Liikennejärjestelmän ominaisuudet

Liikenneverkko alueella on valtaosiltaan tonttikatumaista, mutta alueen läpi kiertää myös yksi isompi alueellisena kokoojakatuna toimiva Otakaari. Vaikka tonttikatujen myötä voidaan mahdollistaa kattavampi alueen sisäinen liikennöinti, tulisi robottibussien jatkossa todennäköisesti pystyä ajamaan myös Otakaarella, jotta syöttöliikenne voitaisiin järjestää tehokkaasti. Lisäksi robottibussien tulisi pystyä ylittämään Otaniementie, jolla vuoden keskimääräinen arkivuorokausiliikenne on 6100 ajoneuvoa/vrk (Espoon kaupunki 2016, s. 26). Vaihtoehtoisesti autotien suuntaisesti kulkeva jalankulun ja pyöräilyn väylää voitaisiin käyttää, mikäli väylän pääkäyttäjille, eli jalankulkijoille ja pyöräilijöille, jäisi tarpeeksi tilaa ohittaa bussi.



Kuvassa 17 on hahmoteltu robottibussien mahdollisia linjastoja, jotka parantaisivat alueen sisäisen joukkoliikenteen palvelutasoa. Linjastot voisivat korvata osan nykyisten suunnitelmien linjastoista, mutta tämä tarkoittaisi käytännössä linjastosuunnitelmien muokkaamista. Kuvan mukaiset linjastot mahdollistaisivat mahdollisimman lyhyet kävelymatkat alueella liikkujille. Eteläisin reitti täydentyisi kokeilun reitistä rengaslinjaksi ja operointi tapahtuisi sekä tonttikatumaaisessa ympäristössä että osittain kokoojakadulla.



**Kuva 17.** Ehdotus Otaniemen robottibussilinjoista. (karttapohja OpenStreetMap 2016)

Otaniemessä vaikutukset alueelliseen tasapuolisuuteen olisivat positiiviset, ja erityisesti lähempänä rantaa asuvat ihmiset voisivat jatkossa paremmin hyödyntää joukkoliikennettä. Lisäksi urheilupuiston käyttäjille tarjotaan mahdollisuus tulla urheilemaan myös joukkoliikennettä käyttäen. Esteetön metro parantaisi yhdessä robottibussien kanssa sosiaalista tasapuolisuutta tarjoten esteettömän matkaketjun eri palveluiden välillä. Kuten myös Hervannassa, robottibussien kytkeminen raideliikenteeseen on hyvin mielekästä myös linjaston yhdistävyyden kannalta.

### **Matkan laatutekijät, matka-aika ja tarjonnan osatekijät**

Otaniemessä robottibussit kulkisivat pääasiassa autoteillä. Tämä lisää automaattisesti riskien suuruutta ympäristössä liikkuvien objektien massan kasvaessa. Robottibussin teknologia ja varajärjestelmät estävät törmäykset, mutta muusta inhimillisestä liikenteestä ei

voida olla täysin varmoja. Otaniemen kokeilussa liikennöitiin melko hiljaisilla tonttikaduilla, joilla liikennemäärät ja ajonopeudet ovat matalampia. Alueella kulkevat ajoneuvot ja ihmiset tottuivat nopeasti busseihin eivätkä aiheuttaneet omalla toiminnallaan vaaratilanteita. Tätä edesauttoi rauhoittava ajoympäristö eli tonttikatumaisuus. Otaniemessä suuremmille teille siirtyminen vaatisi robottibussin ajonopeuksien kasvattamista, jotta ajonopeuksien erot eivät olisi liian suuret. Robottibussien tulisivat pystyä mukauttamaan nopeutensa ympäristön mukaisesti, jolloin erilaisilla väylillä operointi olisi mahdollista (Santamala 2016).

Liikenneturvallisuuden lisäksi koettu turvallisuus on robottibusseille äärimmäisen tärkeää, sillä sekä robottibussien käyttäjien ja sen kanssa toimivien liikkujien ei tulisi pelätä bussia. Otaniemen kokeilun perusteella käyttäjät kokivat tonttikadulla autojen seassa liikkumisen varsin turvalliseksi ja bussiin tottuminen oli nopeaa. Arvio perustuu pitkälti bussissa havainnointiin ja keskusteluihin ihmisten kanssa. Toisaalta bussien operaattorit ovat arvelleet heidän läsnäolonsa lisänsä koettua turvallisuutta. Jatkossa on kuitenkin tehtävä tarkempaa käyttäjätutkimusta ihmisten ajatuksista liikkumisesta robottibussissa myös matalilla nopeuksilla liikennöivän autoliikenteen seassa.

Otaniemen alueella robottibussien vaikutukset täsmällisyyteen olisivat positiivisia. Tonttikaduilla kulkeminen on kokemusten perusteella sujuvampaa kuin esimerkiksi jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden seassa, sillä tonttikadulla bussien läheisyydessä ei kulje kuin autoja ja satunnaisia kävelijöitä ja pyöräilijöitä. Tämä todettiin myös verratessa Hervannan kokeilun ja Otaniemen kokeilun matka-aikoja, joissa Otaniemen keskinopeus oli 0,5 km/h korkeampi. Otaniemessä dynaamisten tekijöiden määrä bussien reitillä oli siis pienempi. Ajoaikaa lukuun ottamatta vaikutukset matka-ajan osiin ovat samantapaisia kuin Hervannassa. Mainittavia eroja Hervannan tarjonnan osatekijöihin vaikutuksista ei ole Otaniemen tapauksessa.

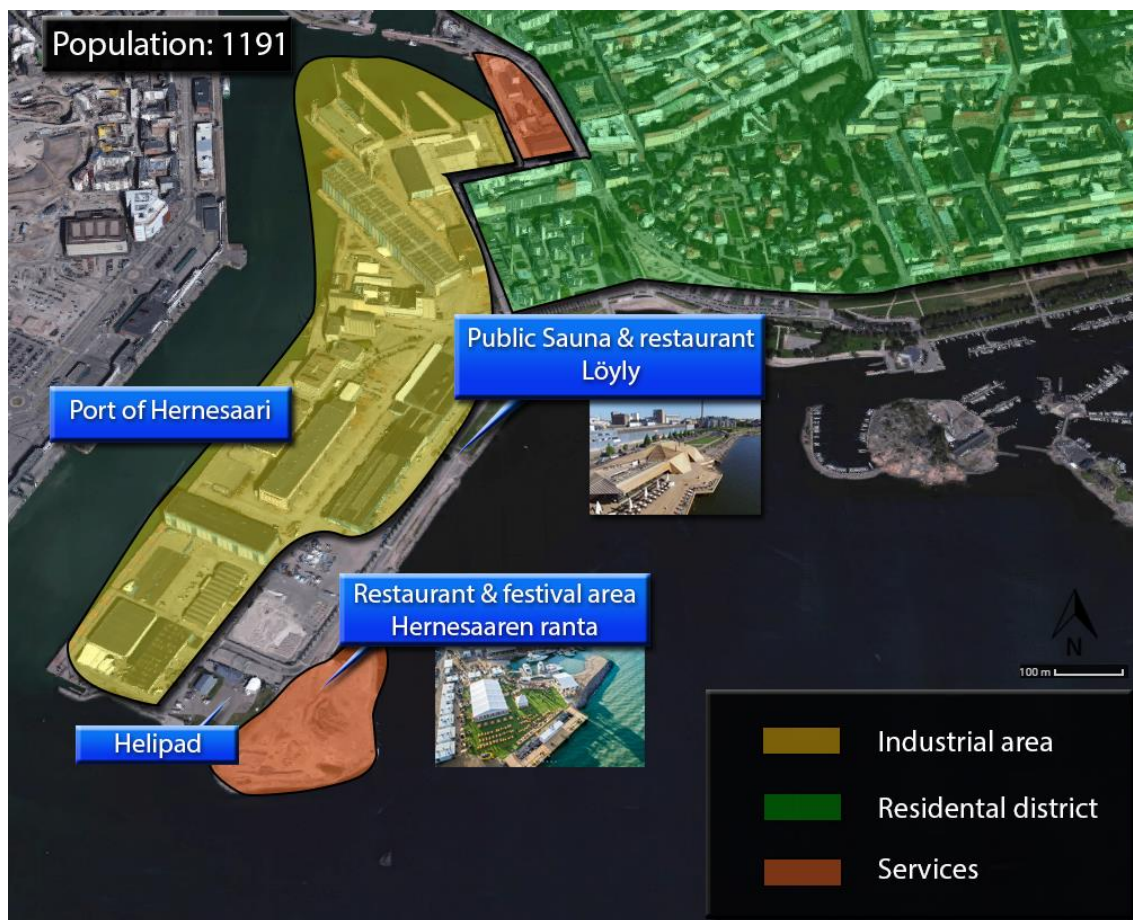
### **3.3 Helsinki, Hernesaari**

#### **3.3.1 Nykytila ja suunnitelman mukainen joukkoliikennejärjestelmä**

Hernesaari on Helsingin eteläosassa sijaitsevan Länsisataman kaupunginosan osa-alue, jossa asuu noin 1100 ihmistä ja työskentelee 1300 henkeä. Maapinta-alaltaan alue on 0,55 neliökilometriä eli asukastiheys on lähes 2200 as/km<sup>2</sup> Helsingin kaupunki 2016, s. 38). Nykytilassaan Hernesaari toimii kansainvälisten risteilijöiden satamana, jonka myötä alue on rakennuskannaltaan teollisuushallipainotteista. Asuinrakennukset painottuvat alueen pohjoisosiin; itäranta puolestaan on houkutellut sijainnillaan ravintoloita sekä suosittua yleisen saunan Löylyn. Eteläosissa aluetta sijaitsevat festivaali- ja ravintola-alue



Hernesaaren ranta sekä helikopterikenttä, jotka on esitetty maankäytön lisäksi kuvassa 18.



**Kuva 18.** Hernesaaren maankäyttö ja keskeisimmät kohteet. (karttapohja: Google Maps 2016)

Nykytilassaan Hernesaaren joukkoliikenne perustuu bussilinjaan 14, joka liikennöi 10 minuutin vuorovälillä Hernesaaren eteläkärjen ja Pajamäen välillä. Tulevaisuudessa Hernesaareen on tarkoitus kaavoittaa rakentamista 5 100 asukkaalle ja 3 800 työpaikalle 2020-luvun alusta alkaen. Hernesaaren osayleiskaavaluonnoksessa joukkoliikenne pyritään järjestämään yhdellä raitiotielinjalla. Kaavoitus on kuitenkin vielä kesken, ja asuntorakentamisen alueella on tarkoitus alkaa vasta 2021. (Helsingin kaupunki 2012, s. 9) Tässä työssä käsitellään kuitenkin robottibussien operointia nykytilan mukaisessa ympäristössä, koska muutoksien tulossa kestää vielä kauan eikä tarkempia arvioita vaikutuksista voida hyödyntää.

### 3.3.2 Robottibussikokeilu

Hernesaari oli SOHJOA-projektin – ja samalla koko Suomen – ensimmäinen avoimessa tieliikenteessä tapahtunut automaatiokokeilu. Kokeilua varten haettiin Trafilta koekilvet busseja varten, jota varten tehtiin lupahakemus koenumerotodistukselle. Hakemukseen

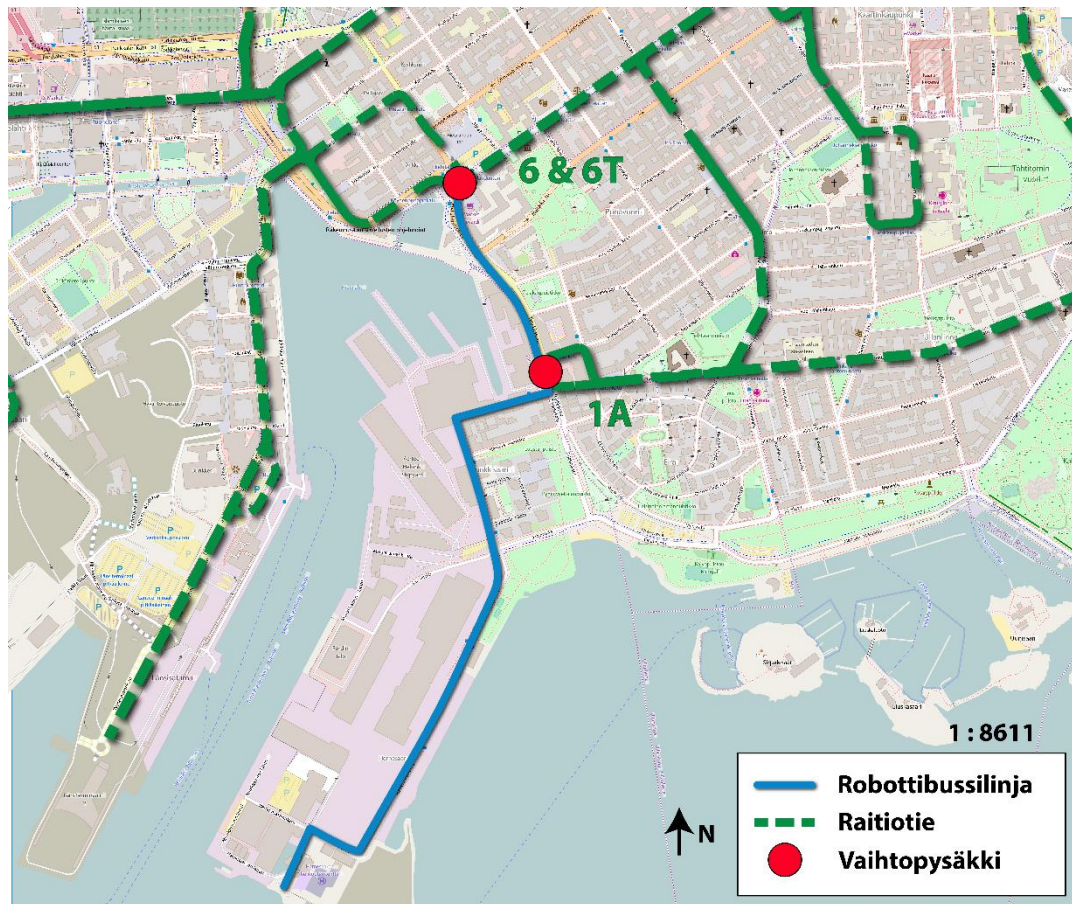


### 3.3.3 Robottibussien vaikutuspotentiaali

Hernesaari poikkeaa huomattavasti Otaniemestä ja Hervannasta ennen kaikkea sijaintinsa, mutta myös hyvin eri tyyppisen joukkoliikenteen asiakaskunnan puolesta. Joukkoliikenteen potentiaalisimpia käyttäjiä alueella ovat päiväsaikaan työntekijät sekä turistit; iltaisin käyttäjät koostuvat pääosin juhlijoista sekä ravintoloiden asiakkaista. Joukkoliikenteen kysyntä painottuu siis eritoten ilta-aikaan. Tähän ajanhetkeen robottibussit sopisivat mainiosti, sillä iltaisin joukkoliikenteen järjestäminen on erityisen kallista palkanliisien johdosta (Anttila 2013). Yöaikaan lyhyen välin ajaminen on myös kuljettajalle raskasta ja monotonista, joten kuljettajaton bussi olisi hyvä ja edullinen julkisen liikenteen lisä taksiliikenteen ohella.

Lyhyelle liityntälinjalle ei Hernesaaren nykytilassa ole suurta tarvetta päiväsaikaan linjan numero 14 liikennöidessä 10-20 minuutin vuorovälillä; klo 00:00 jälkeen busseja ei kuitenkaan alueella kulje, mikä vaikeuttaa monien ravintoloiden asiakkaiden liikkumista. Robottibussien käyttö erityisesti puolenyön ja ravintoloiden sulkemisajan välillä olisi siis perusteltua. Ongelmaksi muodostuvat kuitenkin linjat, joita robottibussit voisivat syöttää. Mahdollisia liityntäliikenteen raitiotieliinoja ovat 1A ja 6, joiden reitit kulkevat riittävän läheltä Hernesaarta. Nämä linjat eivät kuitenkaan liikennöi klo 00:00-04:00, mikä tekisi luonnollisesti lyhyen matkan robottibussista turhan. Hernesaaren liityntäliikenne-eratkaisuna toimiakseen robottibussit vaatisivat tuekseen myös yöaikaan liikennöivät runkolinjat.

Toinen vaihtoehto olisi siirtää linjan 14 reittiä lähemmäs Kamppia, jolloin robottibussit voisivat kuvan 20 mukaisesti syöttää päiväsaikaan liikennettä äsken mainituille raitioiteille, pitäen näin liikennöintimatkansa verrattain lyhyenä. Tämä parantaisi osaltaan robottibussien aikatauluvaihteluita ja näin ollen myös niiden täsmällisyyttä. Operointi Hernesaassa parantaisi myös alueen sisäistä liikennettä ja palvelisi paremmin turisteja ja ravintoloiden asiakkaita, tarjoten samalla saumattoman matkaketjun myös muille Helsingin alueille. (Santamala 2016) Ratkaisu auttaisi myös osaltaan rauhoittamaan niemen liikennettä.



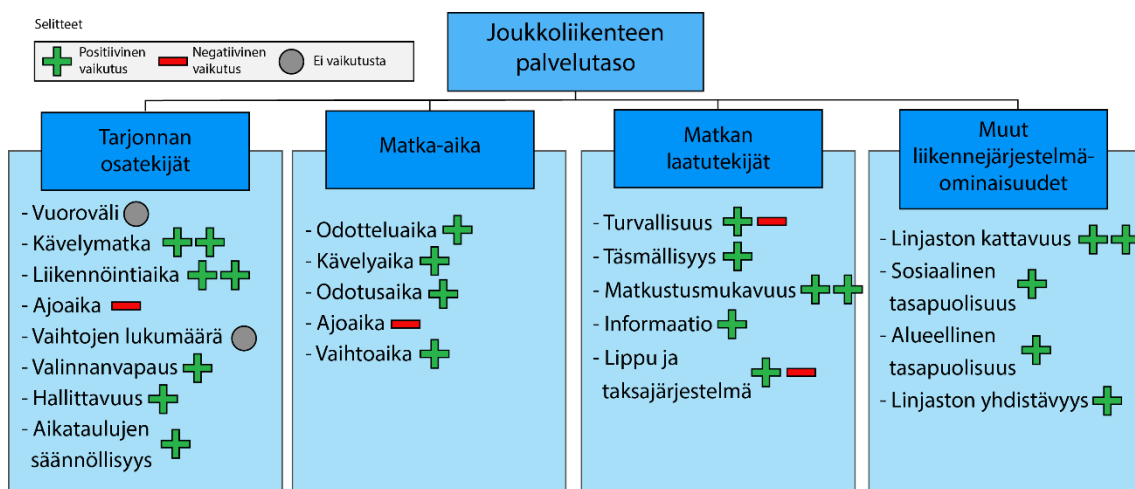
**Kuva 20.** Robottibussilla syöttölinja ratikoille 6, 6T ja 1A. (karttapohja OpenStreetMap 2017)

Aidon käyttötarkoituksen lisäksi Helsingin rannikolla liikennöivät robottibussit toimisivat näyteikkunana liikenteen automaatioteknologialle, millä olisi positiivisia vaikutuksia Helsingin ja Suomen imagoon automaation edelläkävijänä. Jo SOHJOA-projektin ko-keilu Hernesaassa herätti runsaasti mielenkiintoa päättäjissä, mediassa ja käyttäjissä. (Santamala 2016) Myös turismi voisi hyötyä robottibusseista, sillä alueelle merimaisemista ja ravintoloista nauttimaan tulevat turistit pystyisivät tarvittaessa liikkumaan alueen läpi robottibussilla rauhallista tahtia ihailien samalla maisemia. Ravintoloiden asiakkaat puolestaan voisivat matkata Löylyn ja Hernesaaren rannan välillä vaivattomasti.



### 3.4 Koonti vaikutuksista

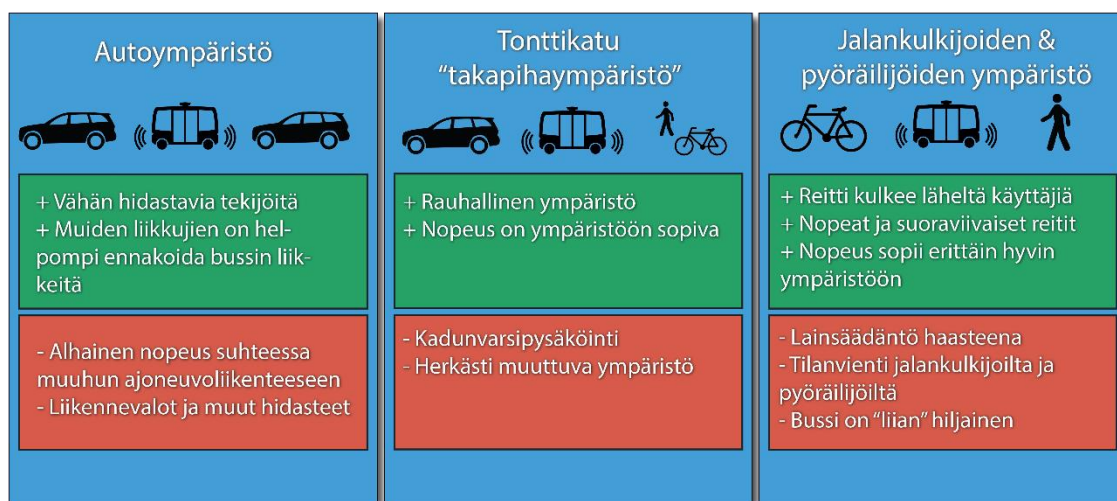
Joukkoliikenteen palvelutason näkökulmasta robottibussit mahdollistavat laadullisen ja kokeiluista saatuihin kokemuksiin perustuvan analyysin jälkeen laadukkaamman ja kokonaisvaltaisemman joukkoliikenteen kokeilualueilla sekä vastaavan tyypillisissä ympäristöissä. Tämän mahdollistavat robottibussien kyky operoida erilaisissa ympäristöissä pienentynein kuljetuskustannuksin sekä aikataulullisesti kattavammin. Kuvassa 21 on koottu lukujen 3.1, 3.2 ja 3.3 pohjalta todetut vaikutukset joukkoliikenteen palvelutasoon. Merkittävää on, että valtaosaan palvelutasotekijöistä voidaan vaikuttaa positiivisesti robottibusseilla. Tämä edellyttää kuitenkin vielä kehitysaskelaiteita niin robottibussin anturi-tekniologian sekä langattomien teknologioiden saralla.



**Kuva 21.** Robottibussien vaikutukset joukkoliikenteen palvelutasoon. (muokattu Pesonen et al. 2006)

Suurimmat positiiviset vaikutukset kohdistuvat kävelymatkaan, liikennöintiaikaan, matkustusmukavuuteen sekä linjaston kattavuuteen. Vastaavasti negatiivisia vaikutuksia voitaisiin havaita pidentyneessä ajoneuvossa vietetyssä ajassa sekä turvallisuudessa ja lippu- ja taksajärjestelmässä. Robottibussit ovat turvallisia matalilla nopeuksilla, mutta esimerkiksi autoteillä nopeuksien nostaminen vaatisi järeämpiä runkoratkaisuja; törmäysturvallisuus herätti paljon huolta erityisesti pelastuslaitoksen tarkastellessa robottibusseja. Myös robottibussien koettu turvallisuus on kaksijakoista, sillä operaattorin poistaminen bussin sisältä voi heikentää monen matkustajan turvallisuuden kokemista. Turvallisuuden lisäksi lippu- ja taksajärjestelmä voi tuoda omia haasteitaan osan matkustajista siirtyessä digitaaliseen veloitukseen ja osan suosiessa vanhempia järjestelmiä. On siis tärkeää pitää asiakasnäkökulma mielessä, kun robottibussien kaupallistumisen myötä busseihin asennetaan maksupäätteet.

Joukkoliikenteen palvelutasoon vaikutusten lisäksi kokeiluista saatiin arvokasta tietoa robottibussien toimintaympäristöistä ja niiden ominaisuuksista. Kolmen toisistaan poikkeavan kokeilualueen keskeisimmät positiiviset ja negatiiviset ominaisuudet on koottu kuvaan 22. Tiivistetysti voidaan sanoa, että robottibussit sopeutuvat nykytilassaan parhaiten jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden ympäristöön, mutta tulevaisuudessa kattava liikennöinti vaatisi myös ajokaistojen hyödyntämistä. Santamalan (2016) mukaan robottibusseista saadaan eniten hyötyä, kun ne osaavat joustavasti käyttää olemassa olevaa ympäristöä hyödykseen ja säädellä nopeuttaan suhteessa muihin liikkujiin. Näin ne pystyisivät operoimaan vaihtelevissa ympäristöissä, mikä helpottaisi niiden implementointia joukkoliikennejärjestelmään.



**Kuva 22.** Robottibussien erilaiset toimintaympäristöt.

Vaikka robottibussit sopivat alustavasti nopeudeltaan ja käyttötarkoitukseltaan jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden väylille, aiheuttaa liikennöinti niillä omat haittansa. Kilpailu pyöräilyn ja jalankulun kanssa ei ole tavoitteellista, sillä hallituksen kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa linjataan, että kävelyn ja pyöräilyn osalta tavoitellaan 30 prosentin kasvua matkojen määrässä vuoteen 2030 mennessä (Valtioneuvosto 2016 s. 30). Kävelyn ja pyöräilyn terveyshyödyt ovat merkittävät, ja robottibussit veisivät myös tilaa väyliltä, joista monet ovat jo entuudestaan huonokuntoisia. Robottibussin käyttökohteita tulee siis miettiä hyvin tapauskohtaisesti ja varmistaa, että jalankulun ja pyöräilyn väylillä niiden pääasialliset käyttäjät eivät koe haittaa robottibussista. Leveät, suorat ja hyväkuntoiset reitit ovat suositeltavimpia, jotta jalankulkijat ja pyöräilijät havaitsevat bussit helposti ja niiden liikkeet ovat ennakoitavia.

Toisaalta joukkoliikenteen kilpailukyvyyn edistämässä on välttämätöntä, että ihmisille tarjotaan mukavia ja esteettäviä ratkaisuja hyödyntää joukkoliikennettä. Tässä robottibussit ovat vahvoja, sillä lopulta lähes kotiovelle pääsevät robottibussit ovat suuri hyöty vaikeasti liikkuville sekä niille, jotka eivät voi sääolosuhteista, varustuksesta tai kantaumuksista johtuen hyödyntää jalankulkua ja pyöräilyä viimeisen joukkoliikennematkan osuuden taittamisessa. Tulevaisuutta ajatellen joukkoliikennettä, jalankulkua ja pyöräilyä

tulee kaikkia tukea, mutta terveellisille liikkumismuodoille voidaan tarjota lisäksi erilaisia rahallisia kannustimia, kuten Britanniassa on tehty tarjoamalla verohelpotuksia yritysten työntekijöiden ostaessa pyörän työmatkakäyttöön (Cyclescheme 2017).

## 4. KÄYTTÄJÄKOKEMUS AUTOMAATTISESSA PIKKUBUSSISSA

Kuten mikä tahansa uusi teknologia, tulevat automaattiset ajoneuvot vaatimaan yhteiskunnan hyväksynnän ollakseen toteuttamiskelpoisia. Tämä vaatii yhteisymmärrystä ajoneuvovalmistajien, muiden toimialojen, valtion ja ennen kaikkea suuren yleisön eli ajoneuvojen käyttäjien sekä niiden välittömässä vuorovaikutuksessa olevien ihmisten välillä. Tutkimusta käyttäjien mielipiteistä robottiajoneuvoja kohtaan on tehty muutamien tahojen toimesta mutta uusien kyselyiden tuottaminen tulevaisuudessa on yhä tärkeämpää liikenteen automaation väistämättä yleistyessä. (JAMA 2016)

### 4.1 Liikenteen automaation yleinen hyväksyttävyys

Automaattisia ajoneuvoja kehitetään ihmisiä varten, joten olennaista on selvittää jo hyvissä ajoin, mitä ihmiset ovat tästä teknologisesta suuntauksesta mieltä. Aiheesta on viime vuosina tehty muutamia tutkimuksia ympäri maailmaa, joilla on pyritty selvittämään ihmisten tietoisuutta automaattisista ajoneuvoista sekä näihin liittyvistä odotuksista. Muun muassa Continental (2013) on tehnyt globaalisti käyttäjätutkimuksia automaattiajamiseen liittyen, ja myös Yhdysvalloissa aihepiiri on tuottanut laadukkaita tutkimuksia muutamien muiden maiden tavoin (Zmud et al. 2016 & Fraedrich et al. 2016).

Continentalin (2013) julkaisemassa tutkimuksessa selvitettiin ihmisten tietämystä automaattisesta ajamisesta sekä heidän suhtautumistaan avustaviin teknologioihin ja täysin automaattiseen ajoon. Haastatteluita tehtiin 1000 kappaletta Yhdysvalloissa, Saksassa, Japanissa ja Kiinassa. Tulosten perusteella automaattisesta ajamisesta tietoisuus oli vuonna 2013 vielä varsin vähäistä: Japanissa vain 29% haastatelluista oli kuullut automaattiajamisesta, Yhdysvalloissa sama luku oli 50%, Saksassa 67% ja Kiinassa 64%. Suurin osa ihmisistä suhtautui kuitenkin positiivisella varauksella automaattiajamiseen, mutta luottamus näiden varmaan toimintaan oli vielä tuolloin matala. Kiinassa uskottiin 65% ja Saksassa 50% osuudella automaattiajamisen olevan osa jokapäiväistä elämää 10-15 vuoden kuluttua. Yhdysvalloissa ja Japanissa luottamus oli alhaisempaa.

Continentalin tutkimusta tuoreempi, Kelley Blue Bookin (2016) julkaisema tutkimus selvitti yhdysvaltaisten näkemyksiä tulevaisuuden automaattisista autoista. Tutkimus tehtiin online-kyselynä, johon saatiin 2264 vastaajaa kahdeksan päivän aikana. Tutkimuksen mukaan 63% yhdysvaltalaisista uskoo liikenteen olevan turvallisempaa, jos standardina olisivat automaattiset autot. Vastaajista 60% tiesi vain vähän tai hyvin vähän automaattisista ajoneuvoista, joten tietämys automaattisista ajoneuvoista ei Continentalin tutkimuk-



seen verraten ole lisääntynyt. Yhdysvaltalaiset tarvitsevat myös vakuuttelua täysin autonomisten autojen käyttöön otossa. Toisaalta tutkimuksessa nuoret ikäluokat ovat selvästi muita ikäluokkia luottavaisempia autonomisten autojen turvallisuuteen liittyen.

Ihmisten tietämys automaattisesta ajamisesta globaalisti vaihtelee siis runsaasti, eikä esimerkiksi Suomessa vastaavia tutkimuksia ollut tehty ennen kuin Trafin tuottama ja Metropolian Ammattikorkeakoulun vuoden 2016 loppupuolella teettämä insinöörityö tiedusteli suomalaisten mielipiteitä automaattiautoista. Tutkimuksesta selvisi, että suomalaiset suhtautuvat muuhun Eurooppaan verrattuna varautuneemmin automaattiautoilun yleistymiseen. Kaupungeissa asuvat suomalaiset uskoivat automaattiautojen hyötyihin enemmän kuin haja-asutusalueiden ihmiset, ja miehet olivat avarakatseisempia automaattiautoilun suhteen. Erityisesti Suomen haasteelliset keliolosuhteet sekä automaattiautojen reagointi odottamattomiin tilanteisiin herättivät huolta vastaajissa. (Kyheröinen 2016) Tutkimuksen perusteella suomalaiset vaativat siis vielä totuttelua automaattiajamiseen. Pelkoja ja epäilyksiä voitaisiin lieventää muun muassa julkisilla tieliikenteen automaatiokokeiluilla.

Edellä mainitut tutkimukset ovat pääosin keskittyneet henkilöautoihin, mutta myös tieliikenteessä joukkoliikenteen automaation käyttäjätutkimusta on tehty hieman. Tässä johdava toimija on ollut CityMobil2, joka on jo useamman vuoden kokeillut robottipikku-busseja erilaisissa toimintaympäristöissä ympäri Eurooppaa kartoittaen muun muassa robottibussien kyydissä olleiden käyttäjien kokemuksia robottibusseista. (McDonald & Piao 2016)

CityMobil2-projekti on teettänyt kyselytutkimuksia kolmella kokeilualueellaan vuonna 2015: La Rochellessa, Lausannessa sekä Vantaan asuntomessuilla, joista viimeisenä mainitulla kokeilualueella liikennöivät SOHJOA-projektissakin käytössä olevat bussit. Kyselytutkimuksista selvisi, että ihmiset pitivät selvästi parhaana käyttökohteena robottibusseille syöttöliikennettä isommille runkolinjoille. Seuraavaksi parhaimpina kohteina pidettiin joukkoliikenteen yötarjonnan parantamista ja liikennöintiä turistikohdeissa. (McDonald & Piao 2016) Nämä tulokset ovat osaltaan motivoineet tämän diplomityön rajausta.

## 4.2 Käyttäjäkyselyt robottibusseista

Robottibussien kyydissä matkustaneiden ihmisten haastattelu on äärimmäisen tärkeää, kun pyritään tunnistamaan robottibussien käyttötarpeita ja joukkoliikenteen arvoa lisääviä tekijöitä. Kannattava ja tehokas joukkoliikenne vaatii joukkoja sekä ihmisiä, jotka ovat valmiita maksamaan uudenlaisesta palvelusta. Tässä luvussa käsitellään SOHJOA-projektin yhteydessä teetettyjä käyttäjäkyselyitä sekä avataan Vantaan demonstraatiosta saatuja lukuja uudempien tutkimustulosten pohjaksi. Käyttäjäkyselyistä ja -haastattelusta saatua tietoa täydennetään bussien operaattorien haastatteluilla sekä yleisellä kokeiluista saadulla tiedolla.

#### 4.2.1 Vantaan asuntomessut

Osana CityMobil2-projektia Vantaan vuoden 2015 asuntomessujen kokeilussa robottibusseilla matkustaneiden henkilöiden käyttökokemusta tiedusteltiin busseissa tehtävin haastatteluin sekä jaettavien QR-koodilomakkeiden avulla. QR-koodikyselyssä tavoitteena oli kerätä tietoa käyttäjien liikkumistavoista ja tietoa robottibussissa matkustamisen tyytyväisyydestä. QR-koodilappuja jaettiin busseissa, ja vastaaminen niihin tapahtui pääosin jälkikäteen. Lappuja jaettiin yhteensä 4000 ja vastauksia saatiin 420. (CityMobil2 2015, s. 11)

Tuloksien perusteella vastaajat olivat tyytyväisiä palvelun laatuun: odotusajan kokivat hyväksi tai erittäin hyväksi 61% matkustajista ja matkustusajan puolestaan 53%. Heikoksi palvelun kokivat 16% vastanneista. Matkustajista 73-94% arvioi matkan mukavuustekijät hyväksi tai erittäin hyväksi. Mukavuustekijöitä olivat istuinpaikan löytäminen, selkeät näkymät ulos, ruuhkautuminen ja lämpötila. Myös palvelun käytettävyys miellettiin korkeatasoiseksi, sillä palveluun tyytyväisiä oli 69% matkustajista, kun tyytymättömien osuus oli alle 6%. Käytettävyyden tiedustelu sisälsi kohdat hyödyllisyys, muihin kulkumuotoihin yhdistettävyys, palvelutaso, mukavuus ja informaation saatavuus. (CityMobil2 2015, ss. 11-12)

QR-koodikyselyiden lisäksi matkustajia haastateltiin bussimatkan aikana. Kokeilun aikana haastateltiin 197 henkilöä, joista 62% oli naisia, kolme viidestä yli 35-vuotiaita ja puolella oli korkeakoulututkinto. Haastattelun tarkoituksena oli selvittää mielipiteitä tavallisen bussin ja robottibussin välillä sekä selvittää kokemuksia turvallisuuden ja hätätilanteiden hallinnasta. Myös matkustajien maksuvalmiutta palvelusta selvitettiin. (CityMobil2 2015, s. 13)

Haastattelujen perusteella mielipiteet robottibussien liikenneturvallisuudesta ovat kaksijakoisia. 30% vastaajista piti niiden turvallisuutta perinteistä bussia parempana, 36% samanvertaisena ja 25% huonompana. Erityisesti hätätilanteiden hallinnassa robottibussin kykyyn ei luotettu, sillä 54% matkustajista mielsi tämä huonommaksi kuin perinteisessä bussissa. Myös koettu turvallisuus oli verrattain heikkoa, sillä yli puolet haastatelluista piti tätä tavallista bussia heikompana. Ihmiset halusivat bussin kyydissä olevan valvojan tai vartijan, jos kuskia ei olisi. (CityMobil2 2015, ss. 13-14)

Haastateltavat eivät olleet valmiita maksamaan kuskittomasta robottibussista kertalippua enempää. 44% maksaisi saman verran kuin nykyään ja 47% maksaisi 0.50€ vähemmän. Vastausten perusteella palvelu voitaisiin sisällyttää ilman lisämaksua kuukausilippuun. Maksuhalukkuuden jälkeen ihmisiltä tiedusteltiin palvelun jatkamisen mahdollisuutta. Käyttäjistä jopa 90% oli sitä mieltä, että robottibusseilla toimiva joukkoliikennepalvelu olisi hyödyllinen jossain päin kaupunkia. Vuonna 2015 ihmiset uskoivat palvelussa olevan potentiaalia, mutta erityisesti turvallisuuskysymykset mietityttivät valtaosaa ihmisistä. (CityMobil2 2015, s. 15)

#### 4.2.2 Hernesaari & Otaniemi

Hernesaaren ja Otaniemen kokeilujen aikana toteutettiin haastatteluita robottibusseissa matkustaville ihmisille. Haastattelujen tarkoituksena oli saada laadukkaita vastauksia suuren vastaajamäärän sijaan. Näin ollen kysymykset pidettiin avoimina: kysymyksiä oli yhteensä 16, joista neljä oli kyllä/ei -kysymyksiä. Kysymykset löytyvät opinnäytetyön liitteestä B. Näkökulmana kyselyissä oli robottibussi palveluna sekä sen kytkeminen muihin palveluihin. (Lehmusjärvi 2017)

Haastatteluissa haastateltiin yhteensä 27 henkilöä. Ikäjakaumaltaan vastaajista valtaosa oli 25-34 vuoden väliltä, mutta myös neljää yli 65 vuotiasta haastateltiin. Vastaajista 83% käyttää joukkoliikennettä säännöllisesti, ja kysyttäessä missä kohtaa robottibussi palvelisi heitä parhaiten, vastasi 7kpl koti, 5kpl metro, 4kpl asemat ja 4kpl siellä missä ei ole reittejä. Käyttökohteina mainittiin myös matkat kauppoihin, baareihin sekä liikenne sairaala-alueella. (Lehmusjärvi 2017)

Haastattelussa kerättiin myös tietoa ihmisten mieltymyksistä matkan aikana. 74% vastanneista oli valmis kuuntelemaan äänellisiä mainoksia robottibussin kyydissä. Ajatuksena oli, että tämä voisi mahdollisesti laskea matkustamisen kustannuksia, mikä tietona sai muutaman vastaajan kääntämään mielipiteensä. Matkan aikana noin kolmas osa vastaajista käyttää reittiopasta, mikä johti myös seuraavassa kysymyksessä monet vastaamaan reittikartan joukkoliikenteestä puuttuvaksi palveluksi. Myös kahdella muulla kokeilualueella matkustajat kaipasivat bussiin karttatietoa bussin liikkeistä. Reittikartan lisäksi bussiin haluttiin matkapuhelimen ja matkakortin latausmahdollisuus. (Lehmusjärvi 2017)

Robottibusseissa kuljettajan puuttuminen tarkoittaa koetun turvallisuuden heikentymistä, mitä voidaan parantaa muun muassa videovalvonnalla. Haastateltavista videovalvonnan hyväksyivät kaikki paitsi yksi henkilö. Puolestaan henkilökohtaisten tietojen hyödyntämisestä joukkoliikenteen parantamista tiedustellessa 13 hyväksyi, 10 hyväksyi ehdoilla, 3 ei hyväksynyt ja 1 ei osannut sanoa. Henkilökohtaisten tietojen käyttämisellä voidaan muun muassa parantaa joukkoliikenteen yksilöllisyyttä ja tarjota matkustajaseurannan myötä optimaalisempi palvelu. (Lehmusjärvi 2017)

Viimeisenä haastattelussa tiedusteltiin asiakkaiden mielipiteitä SmartPost-palveluista sekä oman ajoneuvon omistajuudesta. SmartPost-palveluita oli käyttänyt 10 haastateltavista ja heistä kaikki pitivät tätä hyvänä palveluna, osa erityisesti pidempien aukioloaikojen myötä. Tulevaisuudessa robottibussit voisivat yhdistää henkilökuljetuksiin pakettiautomaattipalveluita sekä muuta tavaraliikennettä, mikä mahdollistaisi myös tehokkaamman logistiikan viimeisen kilometrin. (Lehmusjärvi 2017)

Ajoneuvon omistajuuden koki tarpeelliseksi 8 vastaajista, 9 ei kokenut tarpeelliseksi ehdoilla ja 10 puolestaan ei kokenut sitä tarpeelliseksi. Mielenkiintoista siis on, että suurin käyttäjistä voisi kuvitella elävänsä ilman omaa ajoneuvoaan. Tämä tieto pohjana kyllä-vastanneilta haastateltavilta kysyttiin voisiko oman ajoneuvon omistamisen korvata ovelle tilattavalla robottibussilla tai robottiautolla. 7 henkilöä vastasi tähän kyllä, 6 kyllä ehdoilla ja vain 3 ei. (Lehmusjärvi 2017)

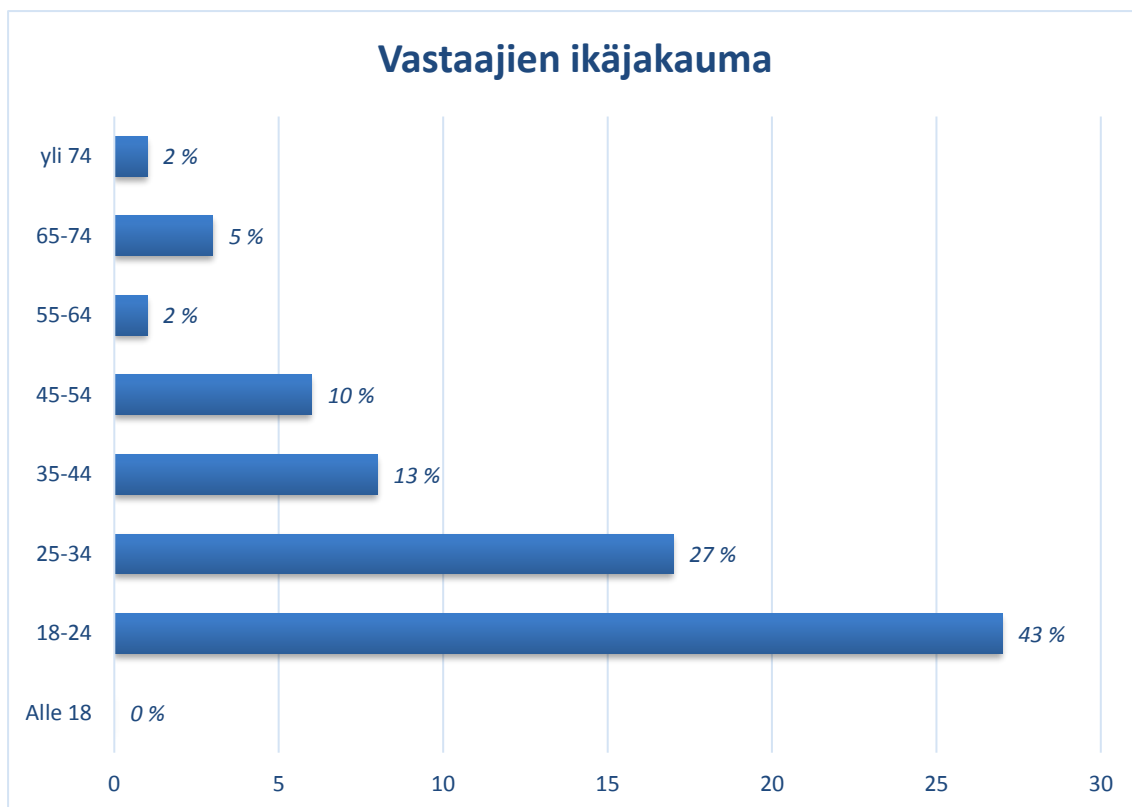
Kokonaisuutena haastatteluista voidaan todeta, että ihmiset haluavat lisää palveluita joukkoliikenteeseen sekä he haluavat päästä vaivattomasti ja informaation saattelemana päätepisteeseensä. Ajoneuvon omistajuus ei ole enää välttämättömyys ja ihmisten suhtautuminen robottibussien tuomiin muutoksiin vaikuttaisi olevan yllättävän positiivinen.

### 4.2.3 Hervanta

Hervannan kokeilussa kartoitettiin robottibussin kyydissä matkustaneiden ihmisten käyttäjäkokemuksia. Kysely toteutettiin QR-koodikyselylappujen avulla, joita bussien operaattorit jakoivat ihmiselle heidän poistuessaan ajoneuvon kyydistä. Kyselyt päätettiin tehdä tällä tavalla, koska ihmisten uskottiin keskittyvän itse ajon aikana mieluummin matkustamiseen ja robottibussissa matkustamisen kokemukseen. Robottibussien sisällä käytiin kuitenkin aktiivista keskustelua robottibusseista bussioperaattoreiden kysellessä matkustajilta aktiivisesti heidän mielipiteitään. QR-koodilappujen lisäksi bussissa oli mahdollisuus täyttää paperinen versio kyselystä, joka oli tehty erityisesti vanhempia matkustajia ajatellen. Myös operaattorit keskittyivät kyselemään vanhemmalta väestöltä sekä muilta matkustajilta heidän näkemyksiään mahdollisimman laajan kattavuuden saavuttamiseksi.

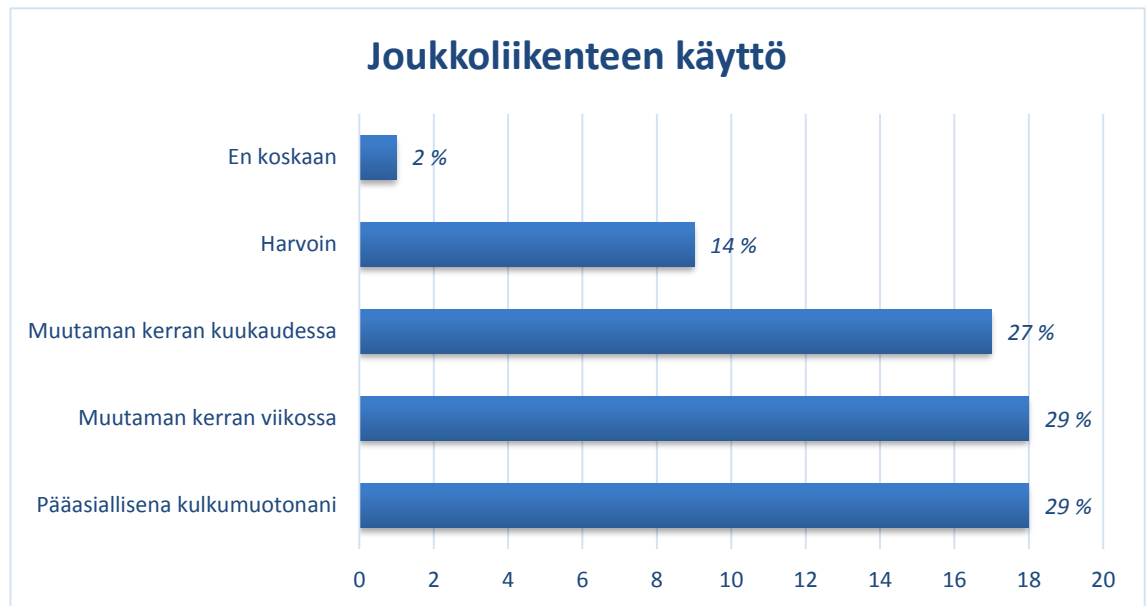
Kyselyn tarkoituksena oli kartoittaa ihmisten yleisiä ajatuksia robottibussissa matkustamisesta, sen hyväksyttävyydestä ja käyttötarkoituksesta sekä maksuhalukkuudesta. Kysely pyrittiin pitämään nopeasti ja helposti täytettävänä, jotta ihmiset vastaisivat mahdollisimman aktiivisesti. Hervannan kokeilun harmillisen lyhyen aikajakson myötä toivotuista vastaajamääristä kuitenkin jäätiin. Kymmenen päivän operoinnin aikana matkustajia kävi busseissa noin 900. QR-koodilappuja pyrittiin jakamaan jokaiselle matkustajalle, mutta tämä ei käytännön syistä aina onnistunut. Vastaajia kyselyyn saatiin lopulta 63 kappaletta. Vastausmäärä ei ole suuri, mutta tulokset antavat kuitenkin paljon kaivattua tietoa ja suuntaviivoja matkustajien ajatuksista robottibusseilla liikennöitävää palvelua kohtaan.

Bussien kyydissä matkustaneet ihmiset olivat ikäjakaumaltaan monimuotoisia: matkustajat vaihtelivat senioreista aina lastenvaunuja työntäviin vanhempiin ja opiskelijoihin. Kuvan 23 ikäjakaumasta huomataan, että kyselyyn vastanneista ihmisistä jopa 43% oli 18-24 vuotiaita. Nuoriin painottuva ikäjakaumaa muodostuu pääosin kampusalueella kulkeneen reitin johdosta. Alle 18-vuotiailta ei saatu vastauksia pitkälti samasta syystä. Vanhempaa väestöä matkusti bussissa myös paljon palvelutalon läheisyyden vuoksi; harva heistä kuitenkaan vastasi kyselyyn, mutta bussien operaattoreilta saadun tiedon mukaan heitä oli enemmän kuin kyselystä voidaan päätellä. Mainittujen käyttäjäryhmien lisäksi keski-ikäisistä matkustajista moni oli kampusalueen työntekijöitä.



**Kuva 23.** Kyselyyn vastanneiden ikäjakauma.

Matkustajien joukkoliikenteen käyttö vaihteli vastaajien keskuudessa paljon, kuten kuvasta 24 voidaan todeta. Kolme kymmenestä vastaajasta käyttää joukkoliikennettä pääasiallisena kulkumuotonaan, samalla vastaajien suhdeluvulla myös muutaman kerran viikossa – ja muutaman kerran kuukaudessa – vaihtoehtona valinneet. Suurin osa vastaajista käyttää siis joukkoliikennettä hyvin säännöllisesti, mutta myös yli 30% vastaajista käyttää joukkoliikennettä vain harvoin tai muutaman kerran kuukaudessa. Tämä selittyy pitkälti sillä, että monet vastaajista asuvat jo Hervannassa, jonka myötä joukkoliikenteen käyttö viikkotasolla on vähäistä. Merkittävä havainto kyselyissä on, että kysyttäessä ihmisiltä lisäisikö robottibussien operointi viimeisellä kilometrillä joukkoliikenteen käyttöä, jopa 85% vastasi kyllä. Tuloksen perusteella monet, jotka eivät nykyisellään käytä joukkoliikennettä, voisivat siis kuvitella käyttävänsä sitä enemmän robottibussien myötä.

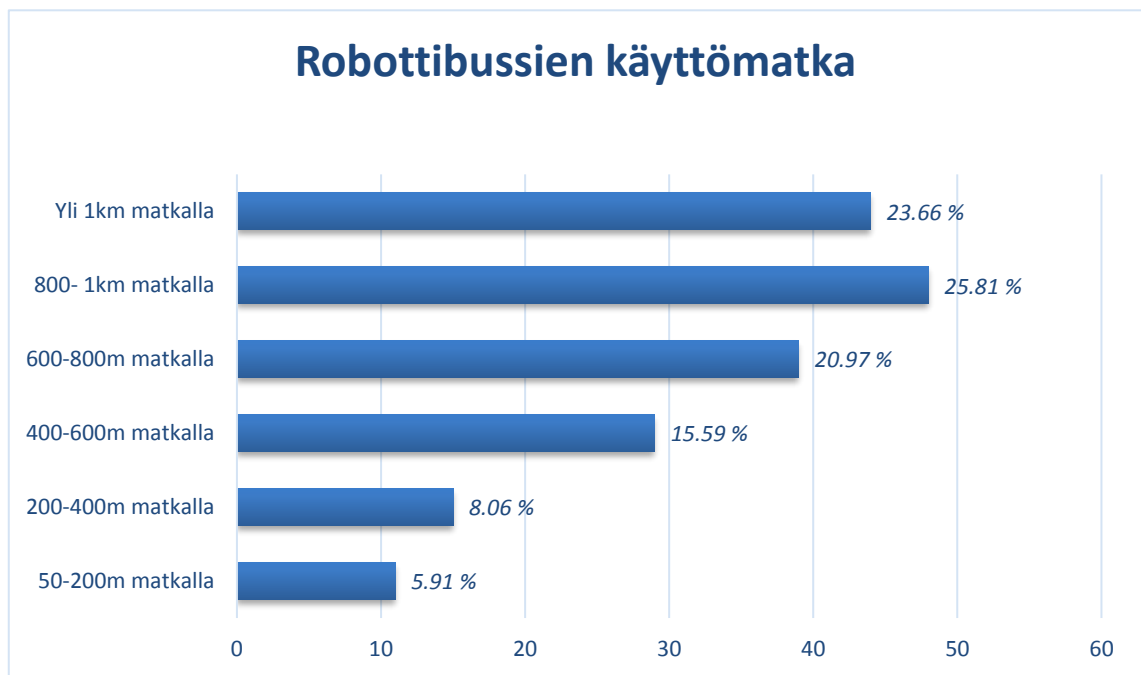


**Kuva 24.** Kyselyyn vastanneiden joukkoliikenteen käytön säännöllisyys.

Robottibussissa matkustamisesta tiedusteltaessa 62% sanoi olevansa innoissaan ja 35% suhtautui positiivisesti. Kyselystä saatuja lukuja tukivat myös operaattoreiden kommentit erityisen positiivisesta ja innokkaasta ilmapiiristä robottibussin sisällä. Matkustajat kyselevät paljon busseihin liittyvästä teknologiasta ja sen käyttökohteista sekä rajoituksista. Positiivisuus näkyi rakentavissa kommenteissa ja monet asiakkaista ideoivat yhdessä robottibusseille käyttökohteita. Mielenkiinto robottibusseja kohtaan oli havaittavissa myös vapaissa kommenteissa, joista muutamia käsitellään tämän luvun lopussa.

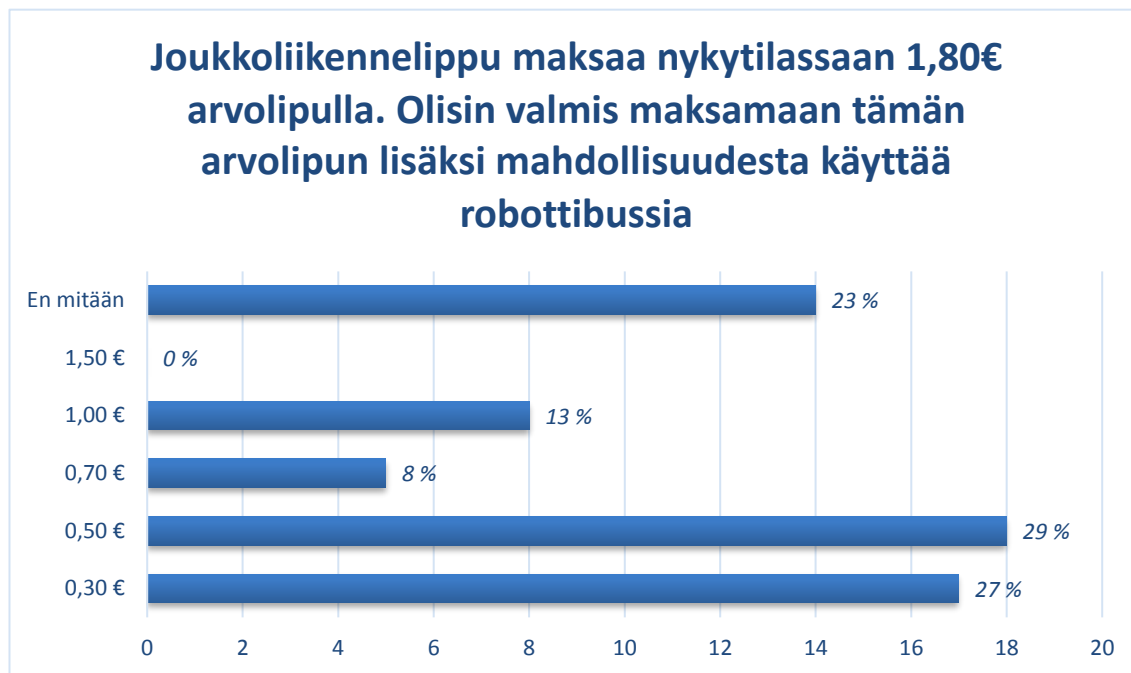
Matkustajista jopa 98% piti robottibussissa matkustamista mukavana ja/tai miellyttävänä. Kyydin koettiin olevan sopivan tasaista ja operaattorit vastasivat kysymyksiin hyvin. Tässä kyselyssä ei selvitetty, miten operaattorin läsnäolo bussissa vaikuttaa koettuun turvallisuuteen, mutta operaattorien mukaan matkustajat olivat selvästi rentoutuneempia ja moni kokikin operaattorin läsnäolon olevan hyvä asia, ainakin toistaiseksi. Kyydin tasaisuuden lisäksi puolet matkustajista piti vauhtia sopivana ja puolet hitaana. Tuloksessa yllättävää on, että näinkin moni piti vauhtia sopivana. Tätä voinee selittää jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden ympäristön vaikutus sekä pilotin luonne. Tulosta voidaan kuitenkin pitää itsessään merkittävänä, sillä nopeuden nostaminen ei välttämättä olekaan tarkoituksen mukaista, kun operoidaan tällaisissa ympäristöissä.

Kyselyssä tiedusteltiin käyttökokemuksen lisäksi ihmisten mielipiteitä mahdollisesta käyttömatkasta, jolla he voisivat kuvitella käyttävänsä bussia. Kysymys oli monivalintakysymys. Kuvan 25 perusteella eniten suosiota herätti noin kilometrin matka, mutta myös lyhyemmät matkat olisivat matkustajien mielestä mahdollisia. Yli kilometrin matka oli myös vahvasti esillä 24 prosentin osuudellaan. Verrattaessa pilotin kaltaisen robottibussin käyttömatkoja jalankulun ja pyöräilyn käyttömatkoihin, voidaan huomata, että robottibussille todellakin voi olla etäisyydenkin puolesta käyttökohde. Suotuisaksi kävelyetäisyydeksi joukkoliikennepysäkille määritellään lähteestä riippuen 300-700m (Verma, I. & Hätönen, J. 2010) tai 400-800m (Wibowo, S.S. & Olszewski, P. 2011; Daniels, R. & Mulley, C. 2011). Pyöräilyn suotuisa etäisyys puolestaan riippuu useammasta tekijästä, mutta yleisesti ottaen liityntämatka ei saisi kestää yli 10 minuuttia. Pyöräilyn keskinopeudesta riippuen tämä on matkana noin 3km (Dekoster & Schollaert 1999, s. 20). Näiden lukujen perusteella näyttäisi siltä, että robottibussien tehokkain etäisyys voisi asettua 600 metrin ja hieman yli kilometrin etäisyyksien väliin, mikä käytännössä vastaisi hyvin ”viimeistä kilometriä”. Tarkemmasta käyttöetäisyydestä on kuitenkin syytä tehdä lisätutkimusta.



**Kuva 25.** Kyselyyn vastanneiden valitut robottibussin käyttömatkat.

Käyttömatkan ohella kyselyä tehtäessä haluttiin saada alustavaa tietoa ihmisten maksuhalukkuudesta ja erityisesti valmiudesta maksaa robottibusseista ylimääräistä hintaa. Kysymys aseteltiin niin, että ihmiset ymmärtäisivät olevan kyse ylimääräisestä maksusta tavallisen arvolipun lisäksi. Tulosten perusteella noin neljäsosa vastaajista ei haluaisi maksaa ylimääräistä, mutta 30 sentin maksu olisi sopiva 27% mielestä ja 50 sentin 29% mielestä. Viidesosa vastaajista oli valmis maksamaan jopa 70 senttiä tai euron robottibussin käytöstä. Kuvassa 26 on esitetty maksuhalukkuutta koskeva tilasto.



**Kuva 26.** Kyselyyn vastanneiden robottibussipalvelusta maksuhalukkuus.

Maksuhalukkuutta koskevien tuloksien perusteella ihmiset ovat siis valmiita maksamaan tällaisesta palvelusta jotain ylimääräistä. Verratessa tätä tulosta Vantaan asuntomessujen tulokseen, voidaan todeta asenteiden muuttuneen. Toisaalta kyselyiden asetellut ovat alueilla hyvin erilaiset, mutta pääidea kysymyksissä on sama. Hervannan kokeiluista saadut tulokset motivoivat osaltaan erilaisia lisäarvopalveluiden mahdollisuuksia ja todistavat kokeilua hyödyntäneiden matkustajien olevan valmiita joukkoliikenteen hinnan korotuksiin, mikäli lähemmäs kotiovea pääsy mahdollistuu.

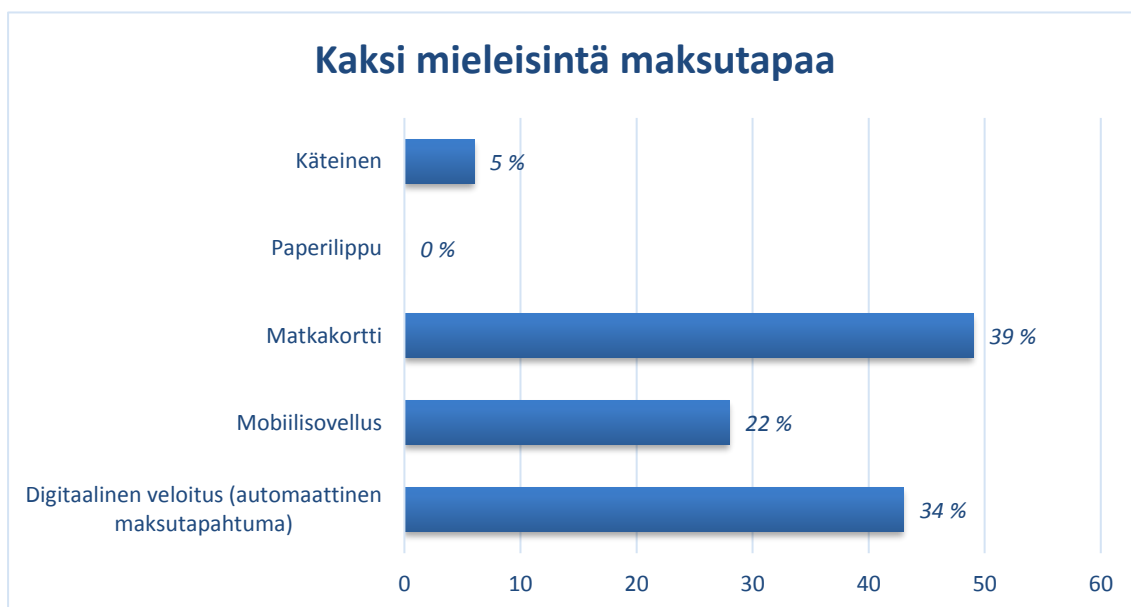
Kyselyn perusteella muodostettiin taulukon 5 mukainen ristiintaulukointi joukkoliikenteen käytön ja maksuhalukkuuden välillä. Tällä haluttiin tarkastella vaikuttaako joukkoliikenteen käytön säännöllisyys ihmisten halukkuuteen maksaa robottibussipalvelusta lisähintaa. Taulukon perusteella maksuhalukkuus vaikuttaisi jakautuvan melko tasaisesti vastaajien keskuudessa. Säännöllisesti joukkoliikennettä käyttävistä suurin osa voisi maksaa jonkin lisäsumman robottibussien palvelusta. Huomattavaa on myös, että henkilöt, jotka käyttävät joukkoliikennettä muutaman kerran kuukaudessa tai harvoin, voisivat maksaa robottibussista ylimääräistä. Tällä otannalla robottibussien operointiin voitaisiin saada säännöllistä tuloa sekä mahdollisesti myös uusia, maksavia asiakkaita.



**Taulukko 5.** Joukkoliikenteen käytön ja maksuhalukkuuden ristiintaulukointi. Prosentit sarakkeittain.

	Käytän joukkoliikennettä:			
	Pääasiallisena kulkumuotonani	Muutaman kerran viikossa	Muutaman kerran kuukaudessa	Harvoin
<b>0,00 €</b>	24 %	11 %	29 %	33 %
<b>0,30 €</b>	29 %	28 %	18 %	33 %
<b>0,50 €</b>	24 %	39 %	35 %	11 %
<b>0,70 €</b>	6 %	17 %	6 %	0 %
<b>1,00 €</b>	18 %	6 %	12 %	22 %

Kyselyn loppuosuudessa matkustajilta tiedusteltiin heidän mieltymyksiään maksutapaa kohtaan. Kysymyksessä vastaajien annettiin valita heille kaksi mieleisintä maksutapaa robottibussista maksamista varten. Vastauksien jakautuminen on esitettyä kuvassa 27. Vastauksien perusteella suosituimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui matkakortti 39% osuudellaan, mikä on loogista sen nykyisen suuren suosion myötä. Yllättävän moni matkustajista kannatti myös digitaalista veloitusta, jolla tarkoitettiin tässä tapauksessa älylaitetta heilauttamalla lukijassa tapahtuvaa maksua. Vastaavasti mobiilisovelluksen valitsi noin viidennes vastaajista. Mobiilisovellus otettiin kyselyyn mukaan MaaS-palveluja ajatellen. Merkittävää on, että paperilippujen puolesta ei puhunut kukaan ja käteisen valitsivat vain vanhemmat matkustajat. Kyselytieto herättää lupauksia, kun ajatellaan robottibusseja osana laajempaa matkaketjua ja järjestelmää, jolloin maksusuorituksen tulee olla mahdollisimman vaivaton matkustajan näkökulmasta. Matkustajat ovat siis pääosin valmiita myös erilaisiin maksuteknologioihin.



**Kuva 27.** Kyselyyn vastanneiden kaksi mieleisintä maksutapaa robottibussissa.

Ristiintaulukoimalla joukkoliikenteen käytön ja valitut maksutavat saadaan tietoa, vaikuttaako joukkoliikenteen käytön säännöllisyys suosittuihin maksutapoihin. Taulukon 6 mukaisesti jakautuneet vastaukset vahvistavat, että matkakortti on suosittu valinta kaikkien joukkoliikenteen käyttäjien parissa. Tulevaisuuden maksuteknologioista digitaalinen veloitus kiinnosti erityisesti aktiivisia joukkoliikenteen käyttäjiä, mutta myös harvemmin käyttävät olivat kiinnostuneita digitaalisesta veloituksesta sekä mobiilisovelluksella maksamisesta. Käteistä suosivat pieni osa muutaman kerran kuukaudessa tai -viikossa joukkoliikennettä käyttävistä vastaajista.

**Taulukko 6.** Joukkoliikenteen käytön frekvenssin ja suosituimpien maksutapojen ristiintaulukointi. Prosentit sarakkeittain.

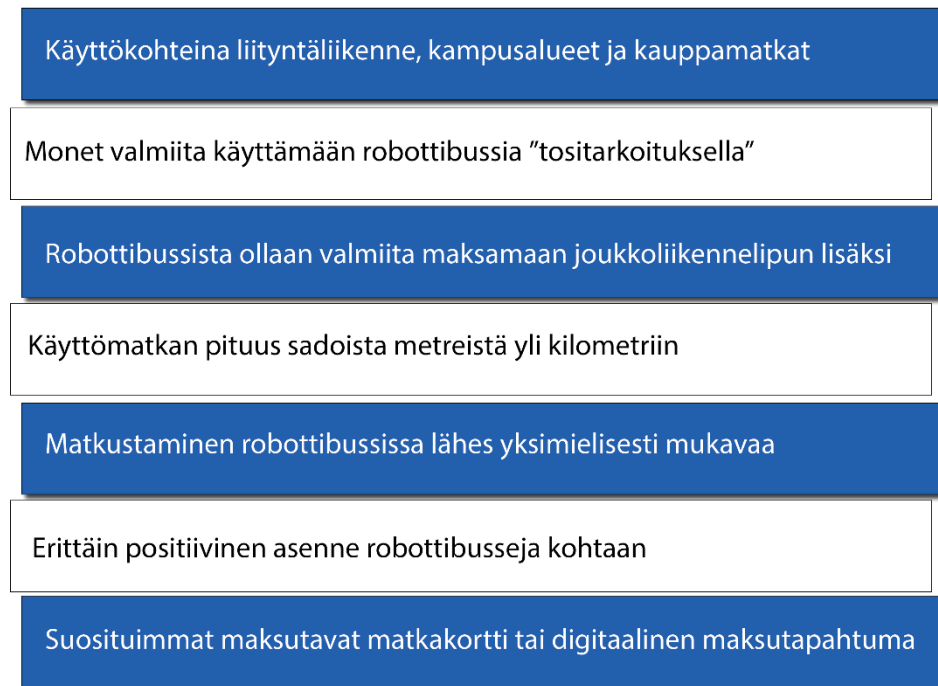
Joukkoliikenteen käyttö	Digitaalinen veloitus	Käteinen	Matkakortti	Mobiilisovellus
En koskaan	2 %	0 %	0 %	4 %
Harvoin	12 %	0 %	16 %	18 %
Muutaman kerran kuukaudessa	26 %	33 %	27 %	29 %
Muutaman kerran viikossa	28 %	67 %	29 %	21 %
Pääasiallisena kulkumuotonani	33 %	0 %	29 %	29 %

Robottibussin palveluista kysyttäessä 42% vastaajista haluaisi näyttötaulun bussin sisälle ja 31% bussin ulkopuolelle. Sisäpuolella olevassa taulussa toivottiin näytettävän bussin sijaintia kartalla, aikatauluja sekä erilaisia tietoiskuja robottibussien teknologiasta. Koikeilun puitteissa asiakkaille ei näytetty miten LIDAR havainnoi ympäristöään, mutta jatkossa tämä olisi hedelmällistä totuteltaessa ihmisiä automaattisiin ajoneuvoihin. Sisäpuolisen taulun lisäksi ulkopuolinen taulu voisi näyttää ihmiselle esimerkiksi raitiovaunun aikatauluja tai muuta hyödyllistä informaatiota. Mahdollisuus mainostaa robottibussissa voi myös olla iso tekijä robottibussien hiljalleen kaupallistuessa. Vapaasti valittavassa kohdassa ihmiset ehdottivat busseihin radiota, mobiililaitteen latausmahdollisuutta ja luonnollisesti teekkarit halusivat robottibusseihin myös oluthanan.

Kyselyn viimeisenä kohtana ihmisille tarjottiin mahdollisuus vapaaseen sanaan robottibusseihin liittyen. Vastausten ja sekä operaattoreilta saadun tiedon mukaan ihmiset antoivat paljon positiivista palautetta ja jopa kehitysehdotelmia. Seuraavana muutamia poimintoja vapaista kommentteista:

- *”Hienosti bussi reagoi jalankulkijoihin. Teki myös nopean jarrutuksen, kun hypäsin sivusta sen eteen. Hienoa! Käyttäisin ehdottomasti joukkoliikenteen jatkona. Vähän saisi nopeutta nostaa”*
- *”Pidemmällä matkoilla ja huonoissa sääoloissa hidaskin bussikyyti kelpaisi.”*
- *”Kehitystä pitää tapahtua, jotta robotti kulkee kelissä kuin kelissä. Pitää pystyä luottamaan siihen, että sitä voi käyttää silloin kun haluaa.”*
- *”Hyvällä säällä voisin kävellä pidemmänkin matkan runkolinjan pysäkillä, huonolla säällä voisin kulkea robottibussilla olettaen, että sitä ei tarvitse kovin kauaa odotella.”*
- *”Toivottavasti tämä johtaa automaattisten ajoneuvoteknologioiden kasvuun”*
- *”Mieluummin kalliimpi hinta palvelusta, joka sisältää koko matkaketjun, kuin erillinen maksu pienestä osasta matkakokonaisuutta.”*

Kokonaisuutena kysely onnistui hyvin ja vastauksia saatiin lyhyestä ajoajasta huolimatta varsin paljon. Keskeisimmät tulokset on esitetty kuvassa 28. Kriittisesti katsottuna kyselyn vastaajiin on voinut vaikuttaa melko voimakkaasti reitin sijainti valtaosin kampusalueella. Kuten ikäjakaumastakin nähdään, kokeilu haali valtaosin nuoria matkustajia kyytiin, mutta toisaalta myös vanhempaa väestöä palvelutalon läheisyyden myötä. Olennainen kysymys on myös se, että kuinka paljon tuloksia vääristää robottibussien aiheuttama ”hype”? Liikenteen automaatio on juuri nyt monien mielenkiinnon kohde, joten mahdollisuus päästä automaattisen bussin kyytiin aiheutti havaittavasti paljon innostusta, mikä on osaltaan voinut vääristää tuloksia.



**Kuva 28.** Keskeisimmät tulokset Hervannan kokeilun käyttäjätutkimuksista.

Robottibussikokeilu ajoittuu hyvään hetkeen juurikin ”hopen” johdosta, sillä tavoitteellista on saada ihmiset tajuamaan tilanne, jossa todellisuudessa eletään. Robottibussikokeilun tärkeänä tarkoituksena on ollut tuoda ihmiselle ymmärrystä joukko- ja tieliikenteen automaatiosta, ja samalla kerätä tietoa ihmisten kokemuksista robottibusseissa. Tästä näkökulmasta käyttäjäkysely on onnistunut. Kyselyn tulosten toivotaan tuovan pohjan jatkotutkimuksille ja tarjoavan alustavaa tietoa automaatiosta kiinnostuneille tahoille sekä päätöksenteon tueksi.

## 5. AUTOMAATTISTEN PIKKUBUSSIEN KANNATTAVUUS -CASE TAMPERE

Joukkoliikenteen kustannuksia seurataan Suomessa vuositasolla kulkumuotokohtaisesti. Joukkoliikenteen kustannusten seuranta on välttämätöntä ennen kaikkea liikennöitsijän kannalta, mutta se antaa myös tärkeää tietoa eri kulkumuotojen tehokkuudesta päätöksenteon tueksi. Kustannuksia tarkastellaan yksikkökustannusten kautta, joiden avulla voidaan vertailla eri liikennemuotojen kustannustehokkuutta. (HSL 2011) Tässä työssä käsitellään kulkumuodoista bussiliikennettä ja sen kustannusrakennetta.

Robottibussien implementointi osaksi joukkoliikennettä on itsessään merkittävä asia, johon liittyy olennaisesti toimivan ja tehokkaan toimintamallin löytäminen. Kyseessä on täysin uusi kulkumuoto, joten on tarpeellista hahmottaa, miten robottibussien operoinnin kustannusrakenne muotoutuu. Robottibussien käyttöönottoon kannustavia tekijöitä ovat luvussa kolme todetut positiiviset vaikutukset joukkoliikenteen palvelutasoon sekä mahdollisesti edullisempi operointi kuljettajakustannusten poistumisen myötä.

Tässä luvussa tutkitaan robottibussien kustannusrakennetta liityntäliikenteenä sekä selvitetään, millä toimintamallilla robottibusseja olisi järkevintä operoida. Vertailukohdaksi selvitetään, miten bussiliikenne voidaan nykyisellään järjestää. Kustannuksia puolestaan lähdetään tarkastelemaan vertailemalla yhden liityntälinjan liikennöintiä tavallisella kalustolla liikennöintiin, joka järjestetään 12-hengen robottibusseilla. Tämän jälkeen valitaan kannattavin toimintamalli perustuen kustannuslaskelmiin ja asiantuntijatyöpajasta saatuun tietoon.

### 5.1 Bussiliikenteen nykyiset toimintamallit

Suomessa henkilöiden kuljettaminen ammattimaisesti maksua vastaan vaatii joukkoliikennelain mukaista joukkoliikennelupaa, ja liikennöinti tapahtuu joukkoliikennelaissa sekä EU:n palvelusopimusasetuksessa määritellyin ehdoin. Joukkoliikennelain mukaisesti toimivaltaisen viranomaisen tulee vastata joukkoliikenteen järjestämisestä. Suomen kaupunkiseuduilla toimivaltaisia viranomaisia ovat kuntien yhdessä muodostamat viranomaistahot tai yksittäiset kaupungit. Kaupunkiseutujen ulkopuolella toimivaltaisia viranomaisia ovat elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset. Kangasalan, Lempäälän, Nokian, Oriveden, Pirkkalan, Tampereen, Vesilahden ja Ylöjärven kuntien muodostamalla alueella toimintavaltaisena viranomaisena toimii Tampereen kaupunki. (Tampereen seudun joukkoliikenne 2016)

Toimivaltaisen viranomaisen tulee määritellä vastualueensa joukkoliikenteen palvelutaso ja päättää joukkoliikenteen järjestämistavoista. Joukkoliikennepalvelu voidaan järjestää joko markkinaehtoisesti tai EU:n palvelusopimusasetuksen mukaisesti kilpailuttamalla. Jos riittävän palvelutason ei katsota syntyvän markkinaehtoisesti, tulee tukeutua palvelusopimusasetuksen (PSA) mukaiseen liikennöintiin, johon tarvitaan julkista tukea eli subventointia. Tämä niin sanottu sopimusliikenne on kilpailutettava hankintalainsäädäntöä ja joukkoliikennelainsäädäntöä noudattaen. Toimivaltaiset viranomaiset päättävät millaista lippu- ja maksujärjestelmää alueen joukkoliikenteessä käytetään. Vastaavasti markkinaehtoisessa liikenteessä liikenteen harjoittajat määrittävät itsenäisesti lippujen hinnat ja niitä ympäröivät järjestelmät. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2012)

### **Markkinaehtoinen malli**

Markkinaehtoisessa mallissa liikennepalvelut voidaan tuottaa vapaan kilpailun pohjalta ilman, että viranomainen puuttuu markkinoiden toimintaan. Suomessa on kuitenkin toistaiseksi voimassa malli, jonka mukaisesti markkinaehtoinen liikenne edellyttää reittiliikennelupaa tai kutsujoukkoliikennelupaa. Luvassa on säädetty liikennöinnin minimikriteerit sekä varmistettu, ettei liikenne aiheuta jatkuvaa ja vakavaa haittaa palvelusopimusasetuksen mukaiselle liikenteelle. Minimikriteerien asettamisessa on ollut tarkoitus taata liikenteen turvallisuus, jatkuvuus sekä asiakasinformaation laatu ja määrä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2012, ss. 6-10) Hallituksen liikennekaarihankkeessa kaavaillaan kuitenkin reittiliikennelupien poistamista. Toimijan olisi jatkossa ilmoitettava säännöllisesti tarjottavaan palveluun liittyvistä tiedoista ja muutoksista vähintään 60 päivää etukäteen. (Finlex 2016)

### **PSA-malli**

Palvelusopimusasetuksen mukaisessa liikennöinnissä toimivaltainen viranomainen asettaa julkisille liikennepalveluille velvoitteet, jotka liikenteenharjoittajan tulee täyttää. Velvoitteista aiheutuvat kustannukset korvataan liikenteenharjoittajalle ja sille myönnetään yksinoikeuksia vastineena julkisen palvelun velvoitteiden hoitamisesta. Viranomainen kilpailuttaa liikenteenharjoittajat joukkoliikennelain ja palvelusopimusasetuksen mukaisesti käyttöoikeussopimuksella eli ns. nettomallilla tai hankintalain mukaisesti bruttomallilla. Mallia sovellettaessa toimivaltaiset viranomaiset ovat tulleet lopputulemaan, että liikennepalvelut ovat monilukuisempia, luotettavampi ja korkealaatuisempia tai edullisempia kuin markkinalähtöisesti tarjotut liikennepalvelut. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2012, s. 20)

### **Bruttomalli**

Bruttomalli on palvelusopimusasetuksen mukaisista liikennöintivaihtoehdoista kaupunkiseuduilla suositumpi. Bruttomallissa toimivaltainen viranomainen on vastuussa liikenteen suunnittelusta ja lipputuloriskistä. Liikenteenharjoittajalta ostetaan tietyn reitin liikennöinti määritellyllä aikataululla, palvelutasolla ja kalustolla. Liikenteenharjoittaja on

bruttomallissa vastuussa asetettujen ehtojen mukaisesti liikennöinnistä eikä näin ollen ole riippuvainen matkustajamääristä, vaan saa aina hankintasopimuksen mukaisen liikennöintikorvauksen. Lipputulot kuuluvat toimivaltaiselle viranomaiselle, joka maksaa yleensä bussiliikenteen yksikkökustannuksiin perustuvan liikennöintikorvauksen liikenteenharjoittajalle. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2012, s. 22)

Bruttomalli mahdollistaa liikenteen suunnittelun toimivaltaisen viranomaisen toimesta keskitetysti, vaikka alueella olisikin useita liikenteenharjoittajia. Olennaista on, että yksittäisillä linjoilla voi toimia eri liikenteenharjoittajia kilpailematta asiakastuloista keskenään, koska toimivaltainen viranomainen kantaa lipputuloriskin. Bruttomallin yhden hallinnoivan tahon myötä paras palvelutaso ja suurin joukkoliikenteen kulkumuoto-osuus on saavutettu alueilla, jossa kyseistä mallia on käytetty ja joukkoliikenteelle on markkinoita. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2012, s. 22)

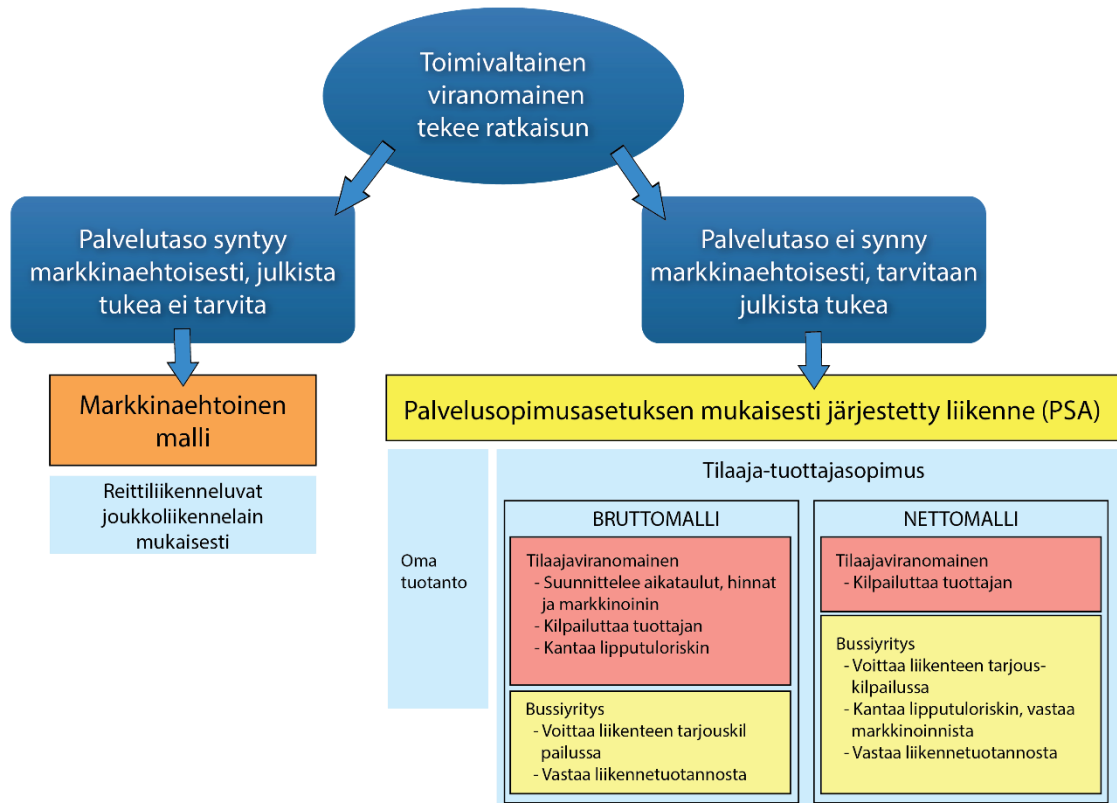
Bruttomallin vaihtoehtona palvelusopimusasetuksen mukaisessa liikenteen järjestämisessä on käyttöoikeussopimuksen mukainen liikennöinti. Käyttöoikeussopimuksia on olemassa alueellisia ja reittipohjaisia, ja reittipohjaisesta puhuttaessa käytetään nimitystä nettomalli, joka esitellään tässä työssä alueellista mallia tarkemmin. Alueellisen käyttöoikeussopimusmallin ja reittikohtaisen käyttöoikeussopimusmallin suurimmat erot ovat hallittavien alueiden koossa ja liikenteenharjoittajan vastuussa. Reittikohtaisessa mallissa liikenteen tilaajalta vaaditaan enemmän suunnitteluresursseja, mutta toisaalta suunnittelutavat kohteet ovat alueelliseen verrattuna pienempiä. Yleisimmät joukkoliikenteen järjestämistavat yksinkertaistettuna on esitetty kuvassa 29. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2012, ss. 25-31)

### **Nettomalli**

Nettomalli on yksinkertainen muoto käyttöoikeussopimuksesta, joka eroaa tilaaja-tuottajasopimuksissa bruttomallista tilaajaviranomaisen vähennetyillä vastuilla. Tässä mallissa tilaajaviranomainen järjestää vain tuottajien kilpailutuksen ja vastaa nettomallin sopimusehdoissa määriteltävissä ehdoissa mahdollisesti myös täysin liikenteen suunnittelusta. Liikenteenharjoittaja eli bussiyritys puolestaan vasta liikennetuotannon lisäksi myös lipputuloriskistä ja markkinoinnista, ja mahdollisesti osittain liikenteen suunnittelusta. Mallissa liikenteenharjoittaja saa korvauksen toimivaltaiselta viranomaiselta sekä lipputulot liikennöinnistä. Maksettava korvaus on riippuvainen matkustajamääristä. Käyttöoikeussopimuksen pääidea on, että liikenteenharjoittajalla on motivaatio hyvään palveluun, sillä se saa itse pitää lipputulot. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2012, s. 31-33)

Tampereella joukkoliikenne järjestetään tilaaja-tuottajamallin mukaisesti bruttomallina. Joukkoliikenteen tilaajana ja toimivaltaisena viranomaisena Tampereella toimii Tampereen kaupunki. Tampereen kaupungin organisaatiossa päätöksentekooelimenä toimii Tampereen kaupunkiseudun joukkoliikennelautakunta, joka vastaa seutuliikenteen ja Tampe-

reen kaupungin sisäisestä liikenteestä. Liikenteenharjoittajat kilpailutetaan jokaisella bus-silinjalla erikseen. Sopimuksessa Tampereen kaupunki määrittää halutun palvelutason suhteen ehdot, joiden tulee liikennöinnissä täyttyä. Tilaajana kaupunki vastaa linjasto-suunnittelusta, tariffien jaosta, informaatio- ja lippujärjestelmän suunnittelusta, joukko-liikenteen tiedottamisesta ja markkinoinnista sekä seudullisen joukkoliikenneyhteistyön koordinoinnista. Nykyisistä liikenteenharjoittajista suurimpia ovat Tampereen kaupunki-liikenne (TKL), Väinö Paunu Oy sekä Länsilinjat Oy, jotka liikennöivät valtaosalla Tam-pereen bussilinjoista. (Tampereen seudun joukkoliikenne 2016)



**Kuva 29.** Bussiliikenteen järjestämistavat (mukaillen Liikenne- ja viestintäministeriö 2012, s. 3).

### Bussiliikenteen kustannustekijät

Tampereella liikenteen tuottajan vastuulla on liikennöidä hankintasopimuksessa asetetulla vuorovälillä ja kalustolla omalla vastualueellaan tai -linjallaan. Koska lipputuloriski on tilaajalla, voivat liikenteenharjoittajat keskittyä liikennöintiin ja sopimusehtojen täyttämiseen. Tuottajan ja tilaajan kannalta merkittävää on kuitenkin tietää operoinnin yksikkökustannukset, joiden mukaan liikennöintikorvaus bruttomallissa maksetaan (Liikenne- ja viestintäministeriö 2012, s. 22).

Bussiliikenteessä yksikkökustannukset jaetaan linjakilometriosalle, linjatuntiosalle ja vuoropäiväosalle. TKL:n kustannusrakenteessa linjakilometriosaan kuuluvat poltto- ja



voiteluaineet, rengaskustannukset, varaosa- ja varastokustannukset, ulkopuoliset palvelut sekä korjaus-, huolto- ja varastopalkat. Linjatuntisosa puolestaan muodostuu sataprosenttisesti kuljettajien palkoista sosiaalikuluihin. Vuoropäivään tai kalustopäivään kuuluvat muut liikenteentuottajan henkilöstökulut, autokaluston pääomakulut kuten pääoman poisotot, korot ja vakuutukset, sekä kiinteistöistä aiheutuvat kulut ja muut edellä mainittujen osakokonaisuuksien ulkopuolelle jäävät kulut. (Periviita 2016) Koonti bussiliikenteen kustannuksista on esitetty taulukossa 7.

**Taulukko 7. Bussiliikenteen kustannusten jakaminen. (Periviita 2016)**

Kustannuserä	Linjakilometri	Linjatunti	Kalustopäivä
<b>Palkat</b>			
Kuljettajien palkat sosiaalikuluihin		X	
Hallinnon ja liikenteen työnjohdon palkat sos. kuluihin			X
<b>Kalustokulut</b>			
Poltto- ja voiteluaineet	X		
Rengaskustannukset	X		
Varaosat, varasto	X		
Ulkopuoliset palvelut	X		
Korjaus-, huolto- ja varastopalkat	X		
Autokaluston pääomakulut			X
<b>Kiinteistöt ja muut</b>			
Kiinteistön kulut			X
Muut kulut			X

Kustannuksien jakautuminen prosenteittain vaihtelee liikennetyypistä ja kaupungista riippuen. Helsingin Seudun Liikenteessä kuljettajien palkat sosiaalikuluihin ovat 53,6% kustannuksista, poltto- ja voiteluaineet, renkaat ja varaosat 18,3%, korjaus ja huolto 5,8%, pääomakulut 9,3% ja yleiskustannukset eli kiinteistö- ja muut kulut 13,1% (Anttila 2013). Vastaavasti Tampereella kuljettajien palkat ovat 52,2% kustannuksista, poltto- ja voiteluaineet, renkaat ja varaosat 20,3%, korjaus ja huolto 9%, pääomakulut 9,3% ja kiinteistö ja muut kulut 9,1% (Periviita 2016).

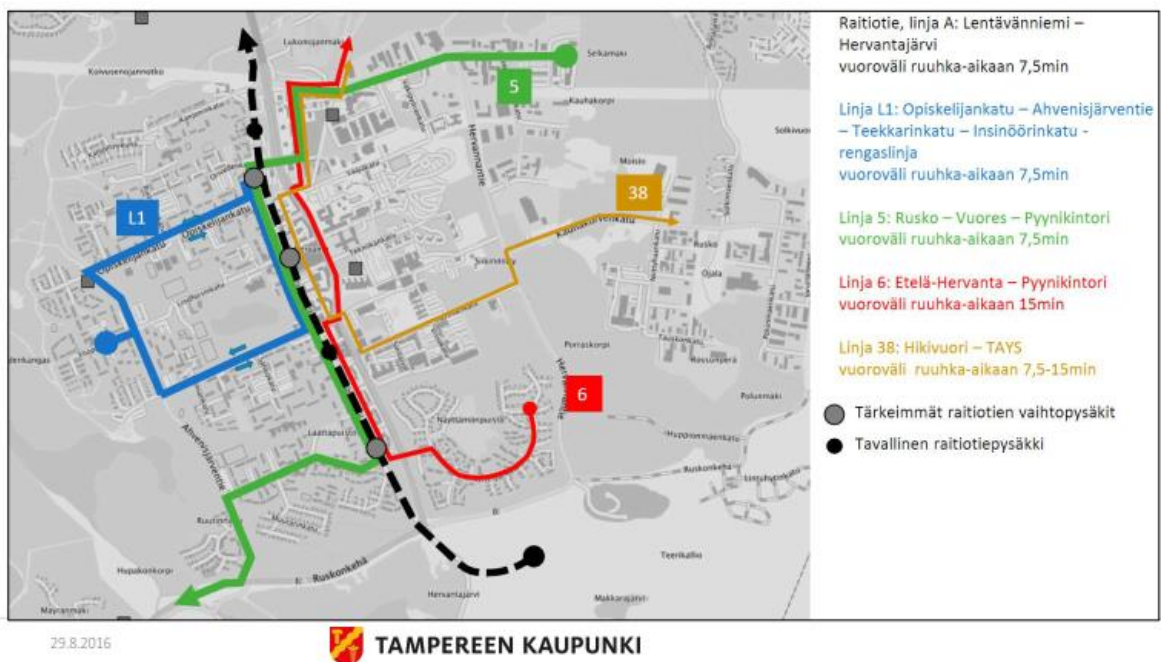
Yksikkökustannukset saadaan jakamalla linjakilometriltä, linjatuntiosalta ja vuoropäiväosalta kertyvät kustannukset kukin vastaavilla suoritteilla. Linjakilometrien kustannukset jaetaan ajetuilla kilometreillä, linjatuntiosa ajetuilla linjatunneilla ja vuoropäiväosa vuoropäivillä. Kokonaishinta liikennöinnille saadaan vastaavasti kertomalla yksikkökustannuksilla vastaavat suoritteet. Tämä kokonaishinta on lopulta se, millä Tampereen bruttomallissa kilpaillaan ja jonka mukaan liikennöintikorvaus maksetaan. (Periviita 2016) Huomattavaa kuitenkin on, että bussiliikenteessä infrakustannuksia ei jyvitetä kulkumuo- tokustannuksissa, sillä bussit käyttävät muun liikenteen kanssa yhteistä liikenneverkkoa.

Tästä johtuen vertaukset esimerkiksi raideliikenteeseen ovat vain suuntaa antavia. (HSL 2011)

Bussiyritysten kustannusrakenteessa suurin yksittäinen kustannustekijä on kuljettajien palkat sosiaalikuluneen. Suomessa kuljettajien palkat ovat kaupunkialueilla keskimäärin 50% kokonaiskustannuksista. Korkeat palkkakustannukset muodostuvat peruspalkan lisäksi palkanlisistä, joita maksetaan ilta- (15%) ja yötoista (20%) sekä sunnuntaivuoroista (100%). Pääkaupunkiseudulla on myös käytössä lauantailisät klo 6-18 (20%) sekä klo 18-24 (50%). Pelkästään linjatuntiosia kattaa siis suurimman osan bussiliikenteen kustannuksista. (Anttila 2013)

## 5.2 Kustannusten vertailu liityntälinjalla

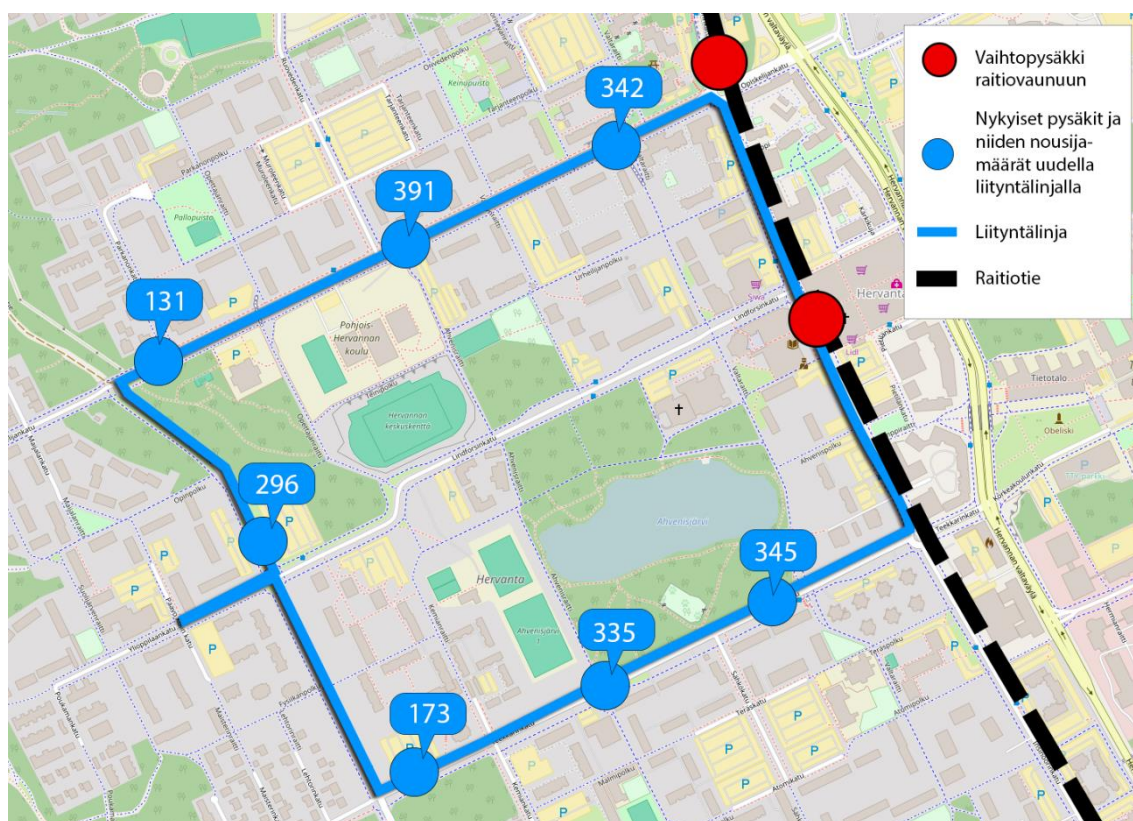
Tässä luvussa vertaillaan bussien operointikustannuksia eri pikkubussityypeillä. Tarkoituksena on selvittää arvioituilla yksikkökustannuksilla robottibussien mahdollisia kustannussäästöjä. Tarkasteluun otetaan Tampereen raitiotien toteutussuunnitelman mukainen Hervannan liityntälinjastohahmotelman linja L1 (kuva 30). Nykyisellä kalustolla linjaa ajettaisiin tavallisella telibussilla, jonka yksikkökustannukset ovat linjakilometriosalla 0,83 €/km, linjatuntiosalla 38 €/h ja autopäivällä 160 €/autopäivä. Tulevaisuudessa olisi kuitenkin mahdollisesti taloudellisempaa ajaa verrattain lyhyttä liityntälinjaa pienkalustolla, ja näin ollen myös kokeilujen pienen kapasiteetin robottibussit olisivat sopivia. (Hakala 2016) On siis hedelmällisempää vertailla pienkaluston kustannuksia keskenään.



Kuva 30. Hervannan liityntälinjasto. (Periviita 2016)

Luvussa vertaillaan pienkalustosta pikkudieselbussin, pikkusähköbussin ja robottipikkubussin kustannuksia. Vertailussa vertaillaan bussiliikenteen tuottamisesta aiheutuvia kustannuksia eli linjakilometriosaa, linjatuntiosaa sekä kalusto-osaa sillä tarkkuudella kuin kaluston osalta voidaan. Kalustopäivälle joudutaan kuitenkin pienkaluston harvinaisuuden myötä tekemään oletuksia. Kalustopäivän lisäksi luvussa käsitellään myös eri pikkubussien hankintakustannuksia ja niihin vaikuttavia tekijöitä.

Liityntälinjan L1 reitti kulkisi Hervantakeskuksen kautta Teekkarinkadulle, sieltä Ahvenisjärventielle ja Opiskelijankadun kautta takaisin Hervantakeskukseen. Reitti on pituudeltaan 3,2 km, ja nykytilan sekä suunnitelmien mukaisesti linjalla on 9 bussipysäkkiä, joista kaksi olisi kuvan 31 mukaisesti vaihtopysäkkejä raitiovaunuun. Nämä vaihtopysäkit sijaitsevat Hervantakeskuksen edessä ja Insinöörintie 16:sta. Liityntälinjalla L1 pienkaluston laskennalliseksi keskinopeudeksi asetetaan 20km/h, joka on nykyisten kaupunkiliikenteen bussien keskinopeus Tampereella (Tuominen 2013). Keskinopeudessa on huomioitu pysäkeillä pysähtymiseen kuluva aika. Myös robottibussien oletetaan vuoteen 2021 mennessä voivan operoida samalla keskinopeudella.



**Kuva 31.** Liityntälinja L1 ja nykyisten pysäkkien nousijamäärät. (karttapohja: OpenStreetMap 2016)

Laskennan lähtötietojen perusteella yksittäisellä bussilla kuluu linjan L1 yhteen kiertoon 9min 36s. Operointiajaksi asetetaan arkivuorokaudet aikavälillä klo 06-22. Tunnissa bussi pystyy siis ajamaan teoriassa 6,25 kierrosta ja arkivuorokauden aikana 100 kierrosta. Linjakilometreissä tämä tarkoittaa 320 kilometriä arkivuorokautta kohti. Linjan reitillä sijaitsevilla pysäkeillä nousujen määrä on arkivuorokautena 2 013 matkustajaa;

huipputuntina kuvan 12 mukaisesti osuus kokonaismatkustajamäärästä on 13% eli noin 260 matkustajaa. Yksi 12-hengen bussi voi kuljettaa 16 tunnin aikana 1 200 matkustajaa ja tunnin aikana 75 matkustajaa. Näin ollen teoreettisen huipputuntikapasiteetin täyttämiseksi vaadittaisiin linjalle neljä pikkubussia ja kokonaismatkustajamäärän kuljettamiseksi riittäisi kaksi pikkubussia.

### Kustannuslaskenta

Bussiliikenteeseen ei Suomessa lasketa infrastruktuurista aiheutuvia kustannuksia, sillä bussit käyttävät tieverkkoa muiden ajoneuvojen tapaan (HSL 2011, s. 16). Sähkövoimaisilla busseilla puolestaan latausinfra hankinta on suuri kustannuserä ja se sisällytetään sähköbussien kustannuksiin. Markkula & Vilppo (2016, s. 16) toteavat 70 000 km vuodessa ajavien neljän bussin 200 kW latausaseman tuovan linjakilometrille jyvitettyä 0,07 €/km lisäkustannuksen. Latausaseman hinta riippuu paljon valmistajasta ja toteuttamisesta mutta pääosin hinnat liikkuvat 0,4-0,6 miljoonan euron välillä per latauspaikka. Kustannuksia vertaillaessa latausasemakustannusta ei oteta toistaiseksi huomioon, sillä latausasemien periaate robottibusseille voi olla hyvin toisenlainen ja hankintatavaltaan poikkeava; luvun lopussa tehtävässä herkkyyksianalyysissä otetaan kuitenkin latausaseman jyvitetty hinta mukaan laskentaan. Robottibusseilla todelliseen hankintahintaan kuuluisivat myös etävalvontaan liittyvät kulut ja verkkomaksut.

Sähköbussien kustannusten laskenta eroaa tavallisista dieselbusseista erityisesti akun hintaa määritettäessä. Sähköbusseilla linjakilometriosan kustannus määräytyy energian hinnasta sekä akun kulumisesta aiheutuvasta kustannuksesta eli akun elinkaarikustannuksesta, joka tässä tapauksessa jyvitetään kilometrikustannukseen. Energian hinta määritetään yksinkertaisesti kertomalla keskimääräinen kilometrikulutus (kWh/km) sähkön hinnalla. Tässä työssä energian hinnalle on käytetty arvoa 6,8 snt/kWh, joka on Tampereen sähkölaitoksen tariffi sisältäen siirtokustannuksen. Sähköbussin akun kulumisen hinta puolestaan lasketaan kaavalla 1 (Markkula & Vilppo 2016, s. 8) sillä oletuksella, että akun kapasiteetti on sen eliniän aikana keskimäärin 90%.

$$\alpha = \frac{p}{0,9 \cdot \gamma \cdot 1/c}$$

$p$  = Akun hankintahinta (€/kWh)

$\gamma$  = sykli-ikä (kpl)

$c$  = bussin nettokulutus (kWh/km)

$\alpha$  = Akun hinta/kilometri (€/km)

(1)

Sähkökäyttöisten bussien huoltokustannuksille ei voida vähäisistä kokemuksista johtuen määrittää absoluuttisen oikeaa arvoa, mutta on kuitenkin arvioitu, että sähköbussin huoltokustannuksiin menee keskimäärin 3 senttiä/km vähemmän kuin dieselbussiin. Tämä

luku perustuu osin siihen, että moottorin kuluminen on erilaista sähkökäyttöisillä ajoneuvoilla. (Markkula & Vilppo 2016, s. 32) Sähköbussien huoltokustannus on siis 22 senttiä/km, ja tätä arvoa on käytetty yksinkertaisuuden vuoksi sekä sähköpikkubussin että robottipikkubussin huoltokustannuksena.

Robottibussin energiankulutukseksi tulee siis  $0,18 \text{ kWh/km} * 0,068 \text{ €/kWh} = 0,0122 \text{ €/km}$ . Energiankulutuksen arvo perustuu kokeiluista saatuun keskimääräiseen energiankulutukseen, mutta nopeuksien noustessa kulutus luonnollisesti kasvaa. Akun kuluminen määräytyy vastaavasti kaavan 1 mukaisesti. Kaavassa käytetyt akun hankintahinta, sykli-ikä sekä akun hinta/kilometri perustuvat Tampereen bussiliikenteen sähköistäminen -raportin tietoihin (Markkula & Vilppo 2016).

$$\text{Robottibussin akun kuluminen} = \frac{1\,000 \text{ €/kWh}}{0,9 * 3000 * \frac{1}{0,18 \text{ kWh/km}}} = 0,067 \text{ €/km}$$

Pikkusähköbussin kustannukset on laskettu vastaavalla tavalla kuin robottibussin, mutta energiankulutus on arvioitu hieman korkeammaksi, sillä automaattisen bussin oletetaan pystyvän ajamaan keskimääräisesti energiatehokkaammin. Dieselpikkubussin kilometrikustannukset perustuvat HSL:n linjojen 801, 802, 805 ja 811-819 pienkaluston kustannuksiin (Peura 2016). Tuntikustannuksena on käytetty sekä diesel että sähköbusseille Tampereen joukkoliikenteen arvoa 38 €/h (Hakala 2016). Robottibusseille tämä arvo on huomattavasti pienempi, sillä 2021 bussien voidaan olettaa olevan etävalvottuja. Tässä vertailussa yksi etävalvoja voisi valvoa viittä busssia kerralla. Yksinkertaistuksena robottibussien tuntikustannus on siis jaettu viidellä, ollen näin 7,6 €/h.

Hankintakustannuksiltaan bussit vaihtelevat huomattavasti. Hankintahintaan vaikuttavat pääosin bussien akusto, runkoratkaisut sekä robottibussissa erityisesti anturit ja sensorit. Akun hinta määräytyy akkutyypin, akun koon, syklikeston, energiatihyden ja sen maksimi lataus- ja purkutehon mukaan (Markkula & Vilppo 2016, ss. 8-9). Vastaavasti runkoratkaisuissa laadukkaammat ja törmäysturvallisemmat materiaalit ovat kalliimpia. EasyMile-robottibussi on kokonsa nähden hyvin kevyt ja sen hinta koostuu valtaosin akustosta, LIDAR-sensoreista ja ohjelmistoista aiheutuvista kustannuksista. EasyMile on ilmoittanut bussin hinnaksi 150 000€ - 200 000€. HSL:n käyttämien dieselpikkubussien hinnat liikkuvat 140 000 € ja 180 000 € välillä ja Virtasen (2016) mukaan sähköpikkubussien hinnat ovat tarjouspyynnöissä jopa kaksinkertaisia. Selvitetyt kustannukset busseista on esitetty kootusti taulukossa 8.



**Taulukko 8.** Bussityyppien kilometri-, tunti- ja hankintakustannus.

Bussityyppi	Kilometrikustannus	Tuntikustannus	Hankintakustannus
Dieselpikkubussi	<b>0,353 €/km</b>	<b>38€/h</b>	<b>140 000 -180 000 €</b>
Sähköpikkubussi 12 henkeä LiFePo-akku (20kWh)	<b>0,32 €/km</b> <i>Energia = 0,1 €/km</i> <i>Huolto = 0,22 €/km</i>	<b>38 €/h</b>	<b>max 280 000 €</b>
Robottipikkubussi 12 henkeä LiFePo-akku (20kWh)	<b>0,3 €/km</b> <i>Energia = 0,08 €/km</i> <i>Huolto = 0,22 €/km</i>	<b>7,6 €/h</b> <i>5 bussia per etävalvoja</i>	<b>150 000 -200 000 €</b>

Bussien hankintakustannuksiin sisältyy kuitenkin tekijöitä, joiden myötä hinnat tulevat olemaan erilaiset tulevaisuudessa. Pikkubussikalustoa on Suomessa nykyisellään hyvin vähän käytössä, minkä myötä matala kysyntä johtaa korkeisiin hintoihin. Tämä näkyy esimerkiksi HSL:n lähibussien 140 000 € hinnassa. Hankintahinnat ovat myös korkeita johtuen pakettiautokaluston huomattavasti lyhyemmästä eliniästä: pienkalustolla puoli miljoonaa kilometriä kuluttaa jo ajoneuvon lähes loppuun, kun esimerkiksi HSL:n kaupunkibussikalustolla vastaavaa kilometrimäärä on 800 000 - 1 500 000km välillä (Peura 2016).

Robottibussien hankintahinnan voidaan myös olettaa muuttuvan elinkaarensa aikana huomattavasti, sillä nykyisin erityisesti ympäristön kartoittamiseen käytetyt LIDAR-sensorit saattavat maksaa jopa 60 000€ kappale. Eräs suurista LIDAR-valmistajista, Velodyne, on kuitenkin vastikään tuonut markkinoille reaaliaikaista 3D-kartoittamista varten tarkoitettuja sensoreita, joiden 8 000€ hinta on huomattavasti alhaisempi. (Velodyne LiDAR 2017) Easy Milen esteidentunnistukseen käytettävien lasereiden hinta puolestaan on vain murto-osa kartoittavien laserien hinnasta. Muut automaattisten ajoneuvojen laitteistot, kuten tutkat, ultraäänisensorit, GPS-vastaanottimet, odometriasensorit sekä mono- että stereokamerat maksavat jo nykyään vain muutamista kymmenistä satoihin euroihin (Davies 2015).

Robottibusseissa esteiden tunnistukseen ja paikannukseen käytettäviä ohjelmistoja ja sensoreita tullaan hyvin todennäköisesti päivittämään useaan otteeseen. Tämä voi vaikuttaa robottibussien hankintahintaan merkittävästi, jos esimerkiksi 12 vuoden aikana robottibussiin tehdään muutaman vuoden välein sensoripäivitys ja vuosittain tai jopa useammin

ohjelmistopäivitys. Tässä työssä laskennan helpottamiseksi oletetaan kuitenkin, että kaikkien tarkasteltavien bussityyppien kalustopäivän kustannus on 100 €. Luku saadaan kertomalla pikkubussien keskimääräisen hinnan ja tavallisen bussin hankintahinnan suhde nykyisen telibussin autopäiväkustannuksella (160€). Tämä approksimaatio antaa riittävän vertauskelpoisuuden eri bussien välillä. Tämän luvun lopulla tehdään kuitenkin vielä herkkyyssanalyysi robottibusseille, jossa lisätään kalustopäivän kustannuksiin etävalvon ja sensoripäivitysten kustannukset ja tarkastellaan niiden vaikutuksia kokonaiskustannuksiin.

Yhden bussin operointikustannukset voidaan laskea yksikkökustannusten ja suoritteiden avulla kaavan 2 mukaisesti. Kilometri- ja tuntiosille on käytetty taulukossa 8 annettuja arvoja ja kalustopäivälle arvioitua 100€/pv arvoa. Tällä tavalla kolmelle eri bussityypille on laskettu yhden bussin arkivuorokauden kustannus (taulukko 9) sekä vuositason kustannus 260 arkivuorokauden ajalta (taulukko 10).

$$\begin{aligned} \text{Kustannus} = & [\text{€/linjakm}] * [\text{kilometrit}] + [\text{€/linjah}] * [\text{tunnit}] \\ & + [\text{€/kalustopäivä}] * [\text{kalustopäivät}] \end{aligned} \quad (2)$$

**Taulukko 9.** Arkivuorokauden kustannukset per bussi (16h).

Bussityyppi	Kilometrikustannus	Tuntikustannus	Kalustopäiväkustannus	Yhteensä
Dieselpikkubussi	113,0 €	608 €	100 €	821 €
Sähköpikkubussi	102,4 €	608 €	100 €	810,4 €
Robottipikkubussi	96 €	122 €	100 €	318 €

**Taulukko 10.** Vuosikustannus per bussi (260 arkivuorokautta).

Bussityyppi	Kilometrikustannus	Tuntikustannus	Kalustopäiväkustannus	Yhteensä
Dieselpikkubussi	29 380 €	158 080 €	26 000 €	213 460 €
Sähköpikkubussi	26 624 €	158 080 €	26 000 €	210 704 €
Robottipikkubussi	24 960 €	31 720 €	26 000 €	82 680 €

Taulukoita 9 ja 10 analysoimalla huomataan, että robottibussien kustannukset ovat muihin bussityyppeihin verrattaessa jopa 2,5-kertaa alhaisemmat. Kustannussäästö syntyy erityisesti tuntikustannuksissa, mutta elinkaaritasolla myös kilometrikustannuksissa saadaan verratta in suurta säästöä.

### Kaksi bussia liityntälinjalla L1

Rengaslinjalla täytyy operoida vähintään kaksi bussia, sillä yhden bussin 9min 36s kiertoaika ei riittäisi raitiotien ruuhka-ajan 7,5 minuutin vuoroväliin. Ruuhka-aikojen ulkopuolella aikataulutus olisi helpompaa. Rengaslinjan luonteen mukaisesti linjalla toisen bussin tulisi operoida eri suuntaan kuin toisen, jotta ihmisten ei tarvitsisi turhaan istua pitkää lenkkiä päästäkseen raitiovaunun pysäkillä. Näin liikennöitynä ne pystytään aikatauluttamaan niin, että molemmat busseista saapuvat vaihtopysäkillä aina ennen saapuvaa raitiovaunua. Tarkempi vaihdon aikaikkuna voidaan määrittää, kun bussien aikatauluvaihtelut on saatu selville liikennöinnissä.

Hervannassa toteutettujen käyttäjätutkimusten perusteella 29% matkustajista oli valmis maksamaan joukkoliikennelipun lisäksi 50 senttiä ylimääräistä robottibussin käytöstä, 21% jopa tätä enemmän ja 27% 30 senttiä. Näiden tuloksien perusteella valitaan lipun hinnaksi 50 senttiä, jonka avulla voidaan laskea teoreettinen maksimi lipputulolle. Arkivuorokautena linjalla olisi 2 013 matkustajaa eli 50snt hinnalla lipputulot kertyisi yhteensä 1 007 €/arkivuorokausi. Taulukossa 11 on laskettu bussityypeittäin kustannukset per nousu jakaen kahden bussin arkivuorokausikustannukset arkivuorokauden nousija-



määrällä. Vertailun vuoksi HSL:n liikenteessä edullisimmat nousut vuoden 2011 bussi-liikenteessä olivat 0,52€ ja kalleimmat nousut 16,70€, keskiarvona 1,50 €/nousu (HSL 2011, s. 40).

**Taulukko 11.** Kustannus per nousu liityntälinjalla L1.

Bussityyppi	€/ nousu
Dieselpikkubussi	$(113,0 \text{ €} + 608 \text{ €} + 100 \text{ €}) * 2 / 2013 \text{ nousua} = \mathbf{0,82}$
Sähköpikkubussi	$(102,4 \text{ €} + 608 \text{ €} + 100 \text{ €}) * 2 / 2013 \text{ nousua} = \mathbf{0,81}$
Robottipikkubussi	$(96 \text{ €} + 122 \text{ €} + 100 \text{ €}) * 2 / 2013 \text{ nousua} = \mathbf{0,32}$

Kustannusten per nousija perusteella diesel- sekä sähköpikkubussi tuottaisivat 50 sentin lippuhinnalla tappiota 32snt ja 31snt per matkustaja. Näillä busseilla operointi vaatisi siis subventointia tai vaihtoehtoisesti joukkoliikenteen palvelutason heikentämistä harvemmillä vuoroväleillä. Robottibusseilla puolestaan 0,32 €/nousu tarkoittaisi sitä, että toiminta olisi voittoa tuottavaa, 18 senttiä per matkustaja. Jopa 30 sentin lippuhinnalla toiminta olisi vain 0,02€/nousu tappiollista. Raitiotien tuoman korkeamman joukkoliikenteen laadun ja robottibussien käytön myötä saattavat myös matkustajamäärät nousta, mikä nostaisi samalla kokonaistuottoa.

### **Herkkyystarkastelu elinkaarelta**

Tarkastellaan muuttuisiko robottibussien operointi kannattamattomaksi robottibussien kilometrikustannusten, tuntikustannusten ja hankintahinnan muuttuessa. Tavallisen dieselbussin keskimääräinen poistoaika on 12 vuotta, ja vaikka sähköbussien moottoritekнологia kestänee dieselmoottoria pitempään, on työssä valittu robottibussin elinkaareksi myös 12 vuotta (Markkula & Vilppo 2016, s. 17). 12 vuoden aikana busseilla voidaan ajaa linjalla arviolta miljoona kilometriä.

Robottibussien kilometriosalle voidaan jyvittää aiemmin mainittu 0,07 €/km latausase- makustannuksia, mikäli linjalla operoisi neljä bussia. Puolestaan ajonopeuksien ja sähkön hinnan noustessa kilometriosalle voidaan lisätä 0,03 €/km kustannus eli yhteensä kilometriosan kustannus nousisi 0,10 €/km. Kalustopäivälle voidaan vastaavasti lisätä etätukiaseman kustannukset sekä ohjelmisto- ja sensoripäivitysten kulut. CityMobil2 on arvioinut etätukiaseman asentamisen ja ylläpidon kuluiksi noin 100 000 € (Cerettoni 2013),

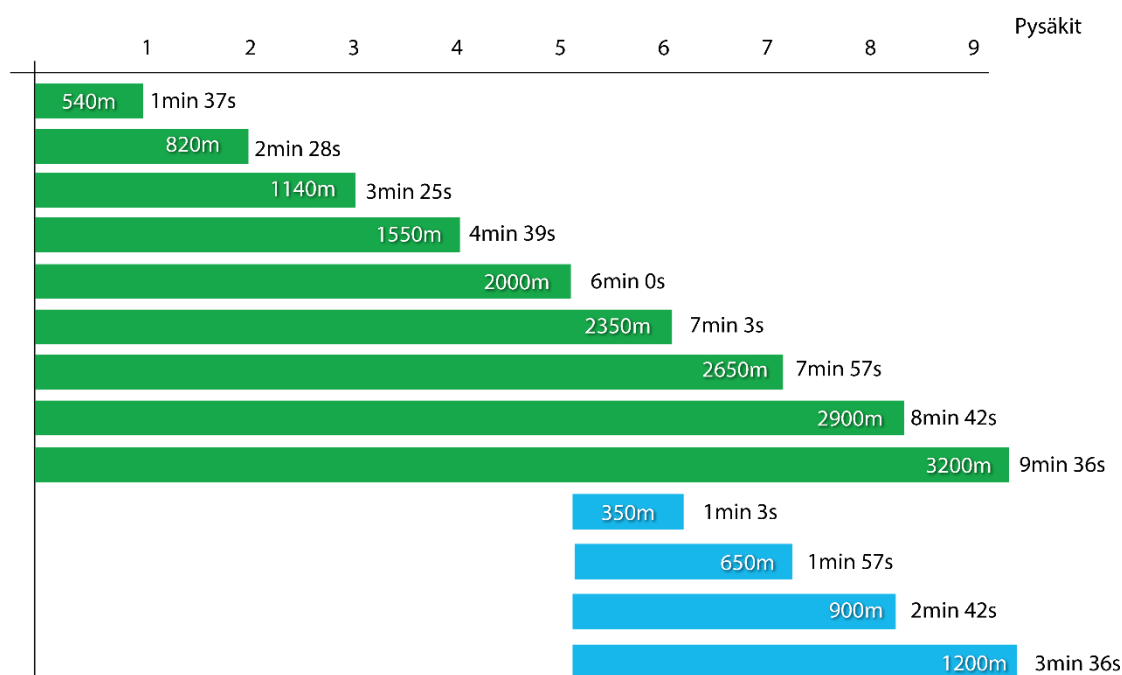
mikä on robottibussien 12 vuoden elinkaarelle jyvitettyä noin 32€/kalustopäivä. Sensoripäivitykset sekä muut reitin ylläpitotoimet kustantaisivat arviolta 18€/kalustopäivä, uuden arvon ollen näin puolitoistakertainen, 150 €/kalustopäivä.

Tuntikustannuskin saattaisi nousta, jos etävalvojalta vaadittaisiin korkeampaa koulutusta. Määritetään tuntikustannukseksi herkkyystarkastelussa 10 €/h, mikä tarkoittaisi 30% korkeampaa palkkaa. Arkivuorokauden kustannukset yhdelle robottibussille olisivat näillä uusilla arvoilla 128€ kilometriosalta, 160€ tuntiosalta ja 150€ kalustopäivältä. Muutettuna kustannukseksi per nousu kahden bussin operoimalla liityntälinjalla L1 tämä luku on 0,44. Kohonneilla kustannuksilla robottibussit olisivat siis edelleen taloudellisesta näkökulmasta kannattavin vaihtoehto 50 sentin lippuhinnallaan.

Kahden bussin vaihtoehdossa suurin ongelma on kuvan 12 mukaisen klo 07-08 välisen huipputunnin ruuhkapiikin kapasiteettivaatimukseen vastaaminen. Huipputuntina matkustajia matkustaisi linjalla  $0,13 \cdot 2013 = 262$ . Kuten aiemmin todettiin, yksi 12-hengen busi kykenee kuljettamaan tunnissa 75 matkustajaa kyseisellä liityntälinjalla. Kahdella bussilla pystytään siis liikuttamaan 150 ihmistä tunnissa, mikä ei riitä vastaamaan kysyntään. Vaihtoehtoina ovat joko hetkellisesti bussikapasiteetin lisääminen huipputuntien ajaksi tai jatkuva operointi neljällä bussilla.

### **Neljäussia liityntälinjalla L1**

Neljällä bussilla operoidessa teoreettinen maksimikuljetuskapasiteetti olisi 300 matkustajaa tunnissa. Busseja voisi kulkea reitillä kaksi molempiin suuntiin esimerkiksi kuvan 32 mukaisella aikataulutuksella. Kuvassa toisen bussin aikataulutus on merkitty vihreällä ja toisen sinisellä. Tällä aikataulutuksella bussit voisivat liikennöidä kuuden minuutin vuorovälillä molempiin suuntiin, tarjoten näin erinomaiset liityntämahdollisuudet molempiin suuntiin liikennöiville raitiovaunuille. Tässä vaihtoehdossa bussien ajonopeutta voitaisiin jopa alentaa ilman suurempia vaikutuksia vaihtoaikaan.



**Kuva 32.** Kahden samaan suuntaan liikennöivän bussin aikataulutus ja matkatiedot.

Liikennöinti neljällä bussilla tulisi kustantamaan taulukon 10 arvojen mukaan 0,64€ per matkustaja. Tämä tarkoittaisi sitä, että linjaa tulisi subventoida mutta samalla matkustajille voitaisiin tarjota huomattavasti parempi joukkoliikenteen palvelutaso tarkemmalla vaihtoajalla sekä kattavammalla liikennöinnillä. Nousevia kustannuksia voitaisiin hyvittää myös mainostulojen avulla. Pidemmälle tulevaisuuteen katsottaessa robottibusseja voitaisiin hyödyntää joustavasti niin, että ruuhkatunteina linjalla voisi olla neljä bussia säännöllisillä aikatauluilla, ja matalamman kysynnän aikoina robottibussin voisi kutsua lähimmälle pysäkilleen ja operointi kahdella bussilla riittäisi vastaamaan kysyntään. SOHJOA-projektissa tullaan vuoden 2017 aikana kokeilemaan tätä pysäkkeihin sidottua kutsuohjautuvuutta, joten joukkoliikenteen kysyntään dynaamisesti vastaaminen tulee olemaan lähivuosien tärkeitä tutkimuskohteita.

Kuten bussimäärien kustannustenkin arvioinnista voidaan nähdä, ovat robottibussit optimaalisimpia reiteillä, jotka ovat 1) verrattain lyhyitä, 2) matkustajamääriltään hillittyjä ja 3) lähellä runkolinjoja. Liityntälinja L1 on näillä kriteereillä robottibusseille lähes optimaalinen. Tätä pidempi linja keräisi isomman määrän matkustajia varreltaan, johon ei robottipikkubussien kapasiteetilla pystytä vastaamaan. Jo 3,2km pitkällä linjalla L1 robottibusseilla operointi vaatisi neljällä bussilla operointia, mikä nostaa kustannuksia huomattavasti. Hyvin lyhyitä liityntälinjastoja voitaisiin puolestaan liikennöidä jopa yksittäisillä busseilla.

Tiivistetysti robottibusseille sopivat parhaiten lyhyet liityntälinjat, koska:

- matkustajamäärät sopivat pikkubussien kapasiteettiin
- kalustomäärät voidaan pitää kustannustehokkaina
- voidaan ylläpitää korkeaa joukkoliikenteen palvelutasoa
- muodostaa tehokas ja kattava liityntälinjasto
- ajonopeudet voidaan pitää hillittyinä
- liikennöinti ihmiskuljettajalle olisi liian monotonista

### 5.3 Robottibussien toimintamallien vertailu

Robottibussien laajemman käytön mahdollistamiseksi turvallisuuden, kestävän kustannusrakenteen ja käyttäjien hyväksynnän lisäksi tarvitaan tietoa millaisella toimintamallilla robottibussien operointi olisi tehokkainta. Automaattisen tieliikenteen markkinat ovat vielä toistaiseksi tuntemattomia, mikä luo epävarmuutta lähteä toimintaan mukaan ja mikä saattaa yhtäaikaaisesti hidastaa automaation yleistymistä. Onko tulevaisuuden robottibusseja tai muuta automaattista julkista tieliikennettä siis järkevintä hallinnoida vanhojen, luvussa 5.1 esiteltyjen toimintamallien mukaisesti vai tulevatko markkinalähtöisyys ja Mobility as a Service -tyyppiset ratkaisut mahdollistamaan täysin uusia toimintatapoja? Tähän kysymykseen lähdettiin hakemaan vastauksia asiantuntijatyöpajan kautta.

Liikenteen automaatio -työpaja järjestettiin Tampereella 9.11.2016 osana SOHJOA-projektia yhteistyössä ITS Factoryn ja VTT:n kanssa. Työpajaan osallistui 50 henkilöä, joista valtaosa oli liikennealan ammattilaisia. Osallistujat koostuivat julkisen sektorin päättäjistä, tutkimuslaitoksen sekä yliopistojen henkilökunnasta, alan yritysten asiantuntijoista sekä opiskelijoista. Työpajassa useat alan ammattilaiset esittelivät näkemyksiään ja hankkeitaan liikenteen automaatioon liittyen, ja lopuksi järjestettiin käytännönläheinen workshop, jossa työpajaan osallistujat pääsivät neljässä eri ryhmässä miettimään automaattisen julkisen liikenteen toimintamallien tulevaisuuden näkymiä, mahdollisuuksia ja uhkia. Ajattelun pohjana toimivat kolme ennalta karkeasti rajattua toimintamallia, joista jokaisesta ryhmät tuottivat SWOT-analyysin postereille. Pääpaino työpajassa pidettiin mahdollisuuksissa ja uhkissa erityisesti rahan, vastuunjaon, toimijoiden välisten suhteiden ja käyttäjälähtöisyyden näkökulmista.

Työpajan pohjalta saatiin runsaasti uutta tietoa ja ajatuksia alan asiantuntijoiden näkemyksistä automaattisen julkisen liikenteen toimintamalleista sekä kuultiin paljon uusia ideoita ja visioita tulevaisuudesta. Tämän luvun alaluvuissa raportoidaan työpajan tulokset. Työpajasta saatuja tietoja täydennettiin ja tarkennettiin jälkikäteen ryhmän vetäjien haastattelujen pohjalta. Ryhmän vetäjät olivat Vernen työntekijöitä ja heitä oli ohjeistettu kirjaamaan toimintamallien mahdollisuuksia ja uhkia ylös sekä keräämään tietoa keskustelusta yleisellä tasolla.

### 5.3.1 MaaS-malli

Mobility as a Service -mallissa lähtökohtana oli markkinalähtöisyys, jossa automaattinen julkinen liikenne olisi osa laajempaa liikenne palveluna -mallia. Ajatuksena on, että yksi tai useampi MaaS-operaattori hallinnoi liikennepalvelun tarjoajia vapailla markkinoilla eli toiminta perustuu kilpailuun. Automaattisen liikenteen palveluntarjoaja voisi olla yksi näistä liikennepalvelun tarjoajista. Työpajassa malli jätettiin siis hyvin avoimeksi, koska MaaS-ajattelu on itsessään melko tuntematonta; ideatasolla MaaS sitoo markkinalähtöisen liikenteen yhdeksi, helppokäyttöiseksi paketiksi loppukäyttäjän eli matkustajan kannalta.

#### Mahdollisuudet

MaaS-malli herätti malleista kenties eniten keskustelua. Asiantuntijoiden mielestä malli mahdollistaisi robottiliikenteen tarjoajan helpon pääsyn markkinoille ja olisi erityisesti näin uudelle teknologialle hyvä alusta aloittaa toimintansa. Mallin katsottiin mahdollistavan operoinnin ja markkinoiden eriytymisen, minkä myötä kaluston omistaisi toinen taho ja palvelun voisi tarjota joku muu osapuoli. Tämä olisi merkittävä muutos ajateltaessa liikennettä kokonaisuutena, sillä palvelujen irrottaminen operoijasta tarjoaisi täysin uusia palvelukonsepteja, missä kaluston omistus olisi ennen ollut kynnyskysymys.

MaaS-mallilla järjestetyn liikenteen automaation uskottiin mahdollistavan myös tavara- ja ihmisvirtojen paremman integraation, minkä myötä kuljetuksia voitaisiin yhdistellä älykkäästi. Robottibussi voisi toimia esimerkiksi pakettiautomaattina. Toimijoiden määrään kasvaessa hyvä hallinnointi eli MaaS-operaattorien rooli korostuisi huomattavasti, ja tämän katsottiinkin olevan sekä ehto että uhka koko MaaS-mallille.

Monimutkaisen, mutta kattavan MaaS-mallin uskottiin yksimielisesti toimivan parhaiten isoilla kaupunkiseuduilla, missä ihmisiä, toimintoja ja palveluita eli liikenteen markkinoita on runsaasti. Automaattinen julkinen liikenne MaaS-mallilla mahdollistaisi näillä alueilla erilaisten yksiköiden parhaimman mahdollisen optimoinnin ja kattavuuden. Haja-asutusalueiden malli nähtiin sekä uhkana että mahdollisuutena: toisaalta vapaa kilpailu voi tuoda automaattista liikennettä pienemmissä yksiköissä taajamiin, mutta isommat, lähellä tiiviimpiä alueita olevat markkinat voivat houkutella suurimman osan palveluntarjoajista luokseen vähentäen kilpailua taajamissa ja nostaen näin hintoja.

Käyttäjänäkökulma oli MaaS-mallissa keskustelun keskiössä. Useiden eri automaattisen liikenteen palveluntarjoajien myötä laaja matkustajatiedon kerääminen ja sen vapaa käyttö mahdollistaisivat käyttäjien kannalta huomattavasti paremman palvelutason. Useiden eri palasten katsottiin tässäkin olevan haastava paketti MaaS-operaattoreille, mutta onnistuessaan kyseessä olisi palvelu, joka tarjoaisi laajan valikoiman vaihtoehtoja, missä automaattinen liikenne voisi nousta joustavuudellaan esille. Mistä-minne -ajattelu sekä

sen nopea mahdollistaminen nostaisi julkisen liikenteen palvelutasoa huomattavasti tuoden uusia käyttäjäryhmiä julkisen liikenteen piiriin samalla tarjoten yksilöllisen palvelun.

## Uhat

Kuten positiivisia asioita, löytyi MaaS-mallista myös paljon kysymysmerkkejä sekä selviä uhkakuvia. Mallissa olisi hyvin monia toimijoita, minkä myötä järkevä organisointi, rahan jako sekä vastuut olivat asiantuntijoille epäselviä. Automaatio liikenteessä tulee lisäämään turvallisuutta, mutta ryhmissä mietitytti onnettomuuksien sattuesssa vastuun jakautuminen tällä mallilla. Myös markkinoille pääsyn helppous herätti epäilyksiä, sillä vaikka automaattisella liikenteellä operoiva toimija voisi päästä markkinoille, voi kova kilpailu tai edelläkävijöiden jo vankistama asema estää markkinoilla pysymisen. Automaatioteknologialla operointi vaatisi investointeja, joten kilpailuun ryhtyminen vaatisi melko suurien riskien ottamista.

Mallin uskottiin tuovan haittaa myös yritysten liikesalaisuuksille, sille avoimen datan ja tiiviin yhteistyön myötä kilpailuvalttien salassapito vaikeutuisi. Liikenteen automaation käyttöönoton koettiin myös vaikeuttavan ”vanhojen” toimijoiden kilpailua, mutta toisaalta tämän todettiin kuuluvan markkinalähtöiseen ajatteluun. Kuten aiemmin todettiin, toimintamallissa haja-asutusalueiden peittoalueen koettiin mahdollisesti heikentyvän ja kilpailun keskittyessä tiiviimmille alueille. Tästä asiasta esille nousi kysymys valtion tuen tarpeesta: tuleeko valtion tukea harvaan asuttuja alueita myös markkinaehtoisessa liikenteessä, millä tukia tasapainotetaan ja miten tuen suuruus ja toimijat määritetään?

Vaikka potentiaali paremmin käyttäjiä palvelevalle mallille on todellinen, löysivät asiantuntijat hyvien puolien lisäksi monta uhkaa käyttäjien näkökulmasta. Yksilöllisen palvelun tarjoamisen myötä automaattisella liikenteellä operoivat palvelun tarjoajat tarvitsevat tarkkaa dataa matkustajakäyttäytymisestä, jonka kerääminen voi olla uhka ihmisten yksityisyydelle. Toisekseen MaaS-palvelun toimintaa epäiltiin Suomen tasolla, jossa markkinat ovat varsin kapeat eikä käyttäjiä ole riittävän laajan kattavuuden takaamiseksi. Tämä voisi näkyä käyttäjille vähäisinä vaihtoehtoina liikkua sekä luoda epävarmuutta palveluiden jatkuvuudessa, jos palvelu ei olekaan yllättäen enää tarjolla siellä, missä se oli vielä eilen.

### 5.3.2 Tilaaja-tuottajamalli

Tilaaja-tuottajamalliksi asetettiin työpajassa PSA-mallia mukaileva malli, jonka pääajatuksena oli tehdä selvä ero tilaajan ja liikenteen tuottajan välille. Tilaajana mallissa toimiisi julkinen sektori, valtuutettu viranomainen, ja tuottajana joku automaattista liikennettä tarjoava yritys. Malli oli vaihtoehtoisista perinteisin ja sillä oli tarkoitus korostaa julkisen puolen roolia toiminnassa. Ryhmille annettiin mallin suhteen muuten vapaat kädet eikä sopimusteknisiä seikkoja tarkasteltu, vaan keskityttiin selvittämään miten automaattinen julkinen liikenne vaikuttaisi mallin toimintaan.

## **Mahdollisuudet**

Tilaaja-tuottajamallin nähtiin olevan hyvin vahva malli sen tunnettavuuden ja selkeyden vuoksi, sillä julkista liikennettä on järjestetty jo pitkään mallia mukaillen. Asiantuntijoiden mukaan on hyvä, että julkinen tarjonta laittaa toiminnan liikkeelle osittain lainkin pakottamana, jotta ei jouduta tilanteeseen, missä liikennepalveluita ei ole tarjolla. Julkisen vallan suuri merkitys näkyisi myös liikennetarjontana harvaan asutuilla alueilla, missä kysyntä on matalaa. Mallin uskottiin tuovan jonkin taseisia liikennepalveluita siis myös etäämmälle tiiveistä alueista.

Operoinnin puolella kuin myös tilaajan puolella automaattinen liikenne toisi säästöjä henkilökustannuksissa, mistä oltiin yksimielisiä ryhmissä. Kuljettajien poistumisen yhtälöstä uskottiin mahdollistavan resurssien tehokkaamman käytön, koska henkilöstöön liittyvät jäykkyudet eivät olisi enää ongelmana. Säästöjen käyttäminen korkeampaan julkisen liikenteen palvelutasoon ei kuitenkaan olisi varmaa, jos subvention määrä pienenisi suhteessa säästöihin. Tämä olisi lopulta julkisen vallan päätettävissä.

Käyttäjänäkökulmasta mallin koettiin tuovan stabiilin ja ennustettavan liikennetarjonnan, joka paranisi automaattisen liikenteen myötä. Tämä johtuisi osakseen siitä, että kalustoa voitaisiin siirtää joustavasti kohteisiin, joissa tarve on suurin. Näin palvelutasoa pystyttäisiin mukailemaan ajankohdan ja paikan suhteen nopeammin ja tehokkaammin. Tilaaja-tuottajamallin nähtiin myös selkeyttävän maksutapahtumia asiakkaan näkökulmasta, sillä maksaminen ei välttämättä vaatisi uusien tapojen opettelemista, mikä olisi esimerkiksi MaaS-mallissa todennäköistä.

## **Uhat**

Tilaaja-tuottajamallin todettiin olevan jossakin määrin ”sopimusjäykä”, jossa pitkät sopimukset eivät tuo juostavuutta itse toimijoiden valintaan. Malli myös suosii suuria toimijoita suurine kalustomäärineen. Näin ollen pienille toimijoille markkinoille pääsy on haasteellista, vaikka automaattiliikennettä voisivat juuri tarjota pienemmätkin yritykset. Tämä ei osakseen ruoki innovaatioita, vaan tapoihin juurrutaan helposti ja pahimmillaan automaatio ei lisäännä yhtä nopeasti kuin potentiaalia olisi.

Toimintamalli voi asiantuntijoiden mukaan johtaa pahimmillaan ”kaikkia ei voida kuitenkaan palvella” -ajatteluun, jossa tyydytään tarjoamaan riittävät palvelut riittävän laajalle alueelle. Viranomaisella on vastuu palvelutasosta, mikä ei olisi kaikissa tapauksissa joustavinta ja tehokkainta; toisaalta myös reittien vaatima subventio saattaa hidastaa kehitystä entisestään. Lisäksi ryhmät näkivät, että matkustajan rooli vaikuttamisessa on pieni tällä mallilla operoituna, sillä toiminta on varsin reguloitua.

### 5.3.3 Joukkoliikenteen lisäarvopalvelu –malli

Joukkoliikenteen lisäarvopalvelu -malli otettiin arviointiin mukaan herättelemään keskustelua myös toisen tyyppisistä automaattisen julkisen liikenteen ratkaisumalleista. Tässä onnistuttiin mainiosti, sillä ajatuksia heräsi runsaasti ja mallin todettiin poikkeavan monilta osin kahdesta edellisestä mallista. Rajaukseksi ryhmille asetettiin vain herättelevä kysymys: ”mitä jos rahalla saisi myös joukkoliikenteessä enemmän?”. Jos automaattisen julkisen liikennettä hallinnoisi ja operoisi vain yksittäinen taho, yritys, joka tarjoaisi lisäpalvelun ylimääräistä maksua vastaan. Palvelu voisi olla lisä tavalliseen julkiseen liikenteeseen.

#### Mahdollisuudet

Mallin poikkeuksellisuuden vuoksi ryhmät totesivat, että lisäarvopalvelu-malli ei toimisi tavallisissa kohteissa, tavallisena osana joukkoliikennejärjestelmää, vaan mallia voisi soveltaa erityisiin kohteisiin, jossa nykyisellään automaattinen julkinen liikenne voisi tuoda aitoa lisäarvoa. Käyttökohteiksi kaavailtiin suuria, yksittäisiä kohteita, kuten messuja, teemapuistoja, lentokenttiä ja pysäköintialueita. Esimerkiksi Särkänniemi voisi Tamperella tarjota robottibussin ensimmäisenä huvipuistolaitteenaan suuremmalta pysäköintialueelta tai joukkoliikennepysäkiltä. Busseissa uskottiin olevan potentiaalia myös elämyspalveluihin, joista mainittakoon maisema-kuljetus, saunabussi tai muu viihdekäyttö.

Toimintamallissa omistaja voisi olla asiantuntijoiden mielestä jonkun muun palvelun tarjoaja, joka sisällyttää robottibussilipun muun palvelun hintaan tai vaihtoehtoisesti velottaa lipusta hieman enemmän. Potentiaalia palvelulla olisi juuri siksi, että tarpeet huomioidaan tapauskohtaisesti ja niistä maksetaan sen mukaisesti. Toiminta toisi lisäarvoa sekä palveluiden asiakkaille, että palvelun tarjoajille. Kyseessä olisi siis eräänlainen liikennepalveluintegraatio.

Pohdittu toiminta olisi myös lähitulevaisuutta ajatellen erittäin potentiaalista, sillä mainitut kohteet olisivat vain osittain avoimia ympäristöjä, jossa muuttujien määrä olisi avoimeen tieympäristöön verrattaessa pienempi. Jo nykyisissä kokeiluissa on todettu, että automaattinen liikenne toimii sitä paremmin mitä suljetummassa ympäristössä kuljetaan. Lisäarvopalvelulla on lisäksi mahdollisuus tuoda lisää satunnaisia käyttäjiä robottiajoneuvojen kyytiin, mikä itsessään mahdollistaa ihmisten totuttamisen robottiajoneuvoihin.

#### Uhat

Joukkoliikenteen lisäarvopalvelu -mallin uhkiksi koettiin ihmisten maksuhalukkuus erilisestä palvelusta sekä hintojen nousu menestymispaineiden myötä. Maksuhalukkuus olisi todennäköisesti heikkoa, jos jokaisella matkalla lippu pitäisi erikseen maksaa; ryhmät uskoivat lipun hinnan integroinnin muuhun palveluun olevan parempi ratkaisu. Toisaalta kertamaksu voisi toimia, jos maksaminen onnistuisi asiakkaan kannalta vaivatto-



masti. Maksaminen vaatisi myös maksamisen standardin, sillä eri liikennepalvelujen tarjoajat voisivat muussa tapauksessa käyttää useita erilaisia maksujärjestelmiä, mikä olisi loppukäyttäjille haasteellista.

Yksittäisiin tapahtumiin ja tiettyihin ajankohtiin ajoittuva malli toisi mukanaan haasteita kulkuneuvojen ympärivuotisessa käytössä. Tämän huomion pohjalta heräsi ajatuksia liiketoiminnasta, missä tapahtumien ulkopuolinen yritys vuokraa robottibusseja yksittäisiin tapahtumiin. Näin ollen messualueille voitaisiin saada sisäisiä kuljetuksia nopealla frekvenssillä osaavalta taholta, joka voisi tapahtuman loputtua vuokrata kulkuneuvoja eteenpäin.

Tavallisen joukkoliikenteen lisänä tämän tapaisen palvelun ei uskottu toimivan, sillä nopeat muutokset aikatauluissa ja sijainnissa toisivat asiakkaille turhaa epäselvyyttä. Toimivampina keinoina nähtiin variaatioita kahdesta muusta mallista. Tämän mallin mukaisesti järjestettynä kuljetus runkolinjalta kotiovelle nostaisi ryhmien mukaan hintoja liikaa, olisi joustamatonta niin asiakkaan kuin tuottajan näkökulmasta sekä ei realistisesti pystyisi kilpailemaan henkilöautoilun kanssa. Laajemman järjestelmän organisointi ja kattavuuden takaaminen vaatisivat julkisen sektorin ohjeistamista tai kokonaisvaltaista MaaS-mallia.

### 5.3.4 Päätelmät

Työpajan jälkeen työpajaryhmien vetäjien kanssa käytiin vielä erillinen keskustelu, jonka pohjalta muodostettiin lopullinen käsitys toimintamalleista ja julkisen liikenteen automaation tulevaisuudesta. Vetäjät kokosivat työpajaryhmien työskentelyn pohjalta käsitöksensä toimintamalleista, joita vertailtiin tässä keskustelussa keskenään. Keskusteluissa arvioitiin mallien toteutumisjärjestystä ja kerrattiin mitä muuta keskustelua työpajoissa oli herännyt.

Keskustelujen perusteella lähitulevaisuuden kaupallinen toimintamalli voisi olla joukkoliikenteen lisäarvopalvelu, jota hyödynnettäisiin suurissa kohteissa, kuten messuilla, huvipuistoissa, pysäköintialueilla, sairaala-alueilla tai lentokentillä. Tällaisessa mallissa huvipuisto tai kauppakeskus voisi itse omistaa tai vuokrata kulkuneuvon ja tarjota asiakkailleen sen osana palvelun hintaa tai erillistä lisämaksua vastaan. Esimerkiksi robottibussin reitin voi jo nykytilassaan tehdä nopeasti lähes avoimeen toimintaympäristöön. Ryhmien sekä Santamalan (2016) mielestä nykyinen kalusto sopisikin parhaiten tällä mallilla sovellettavaksi, minkä myötä saataisiin lisää kokeilutietoa automaattiliikenteestä. Robottiajoneuvojen hyödyntäminen tällaisissa paikoissa tarjoaisi hyvän kokeiluympäristön lisäksi aidon käyttötarkoituksen. Vantaan asuntomessujen suuret robottibussien kävijämäärät puoltavat myös tätä ajatusta.

Joukkoliikenteen lisäarvopalvelun ohella ryhmissä uskottiin tilaaja-tuottaja-malliin, jonka koettiin olevan stabiili malli myös automaattiselle liikenteelle. Esimerkiksi julkinen

sektori, kuten kunta tai kaupunki, voisi aluksi ostaa tai sopia tuottajan kanssa muutamien robottibussien ostosta, joita se voisi ensi alkuun hyödyntää selvästi määritellyillä reiteillä kokeilumielessä. Toisaalta kaupunki voisi myös hyödyntää robottibusseja kaupungissa järjestettävien messujen, konserttien tai urheilutapahtumien yhteydessä.

Työpajan toimintamalleja tarkasteltaessa tuli selväksi, että MaaS-malli on itsessään melko hahmottamaton toimintamalli, jonka pelisääntöjä ei vielä osata määritellä. Kilpailun koetaan pääsääntöisesti hyödyttävän loppukäyttäjää, mutta automaattisen liikenteen toimintamalliksi siitä ei vielä hetkeen ole IT-teknoologiaan, vastuukysymyksiin ja rahanjakoon liittyvien epäselvyyksien johdosta. Toisaalta työryhmät uskoivat, että MaaS-malli voisi toimia tilaaja-tuottaja-mallin kanssa yhtäaikaisesti, jolloin esimerkiksi runkolinjat olisivat julkisen tahon vastuulla ja tätä ympäröivä järjestelmä toimisi jonkin asteisella MaaS-ratkaisulla. Tulevaisuudessa kutsuohjautuvuuden, kaupunkien ja markkinoiden kasvun sekä automaation yleistymisen myötä tilannetta on kuitenkin syytä tarkastella uudestaan.

Ryhmät olivat valtaosin yksimielisiä toimintamallien mahdollisuuksista ja heikkouksista sekä niiden kronologisesta käyttöönottojärjestyksestä. Toimintamallista riippumatta asiantuntijat kokivat, että julkisen tieliikenteen automaation selvästi potentiaalisimpia etuja ovat automaation ketteryys eli reitin ja kapasiteetin optimointi kysynnän mukaan. Mahdollisuuksia on erityisesti joukkoliikenteen viimeisen kilometrin ongelman kohdalla ja osana laajempaa syöttöliikennejärjestelmää. Liikenteen automaation uskotaan tuovan Suomeen lähiaikoina uutta liiketoimintaa anturi- ja palveluosaamisen aloilla, eikä kehitys jää siihen. Automaattinen liikenne on pian arkipäivää kaduillamme, uskoimme sitä tai emme.

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSKOHTEET

### 6.1 Yhteenveto

Tässä diplomityössä tarkasteltiin automaattisten pikkubussien (robottibussien), kustannusrakennetta, mahdollisia toimintamalleja sekä vaikutuspotentiaalia joukkoliikenteen palvelutasoon kolmella kokeilualueella. Näiden lisäksi selvitettiin käyttäjien mielipiteitä robottibussien käyttötarkoituksista sekä kynnystä ottaa tällainen uusi liikenteen palvelu käyttöönsä. Työ pohjautui vahvasti SOHJOA-projektista saatuihin käytännön kokemuksiin sekä näiden analysointiin ja jatkosoveltamiseen. Tarkasteluajankohdaksi määritettiin vuosi 2021, jolloin robottibussit alkavat siirtyä kaupallisiin tarkoituksiin ja ne ovat osa runkolinjojen liityntäliikennettä.

Robottibussit sopivat kapasiteetiltaan ja ominaisuuksiltaan täydentämään joukkoliikennettä liityntäliikenteen muodossa. Automaattiset pikkubussit tuovat uuden vaihtoehdon joukkoliikenteen viimeiselle- ja ensimmäiselle kilometrille, mikä mahdollistaa joukkoliikenteen palvelutason parantamisen ja tuo matkaketjuihin lisää valinnanvapautta. Joukkoliikenteen palvelutasoa tarkasteltaessa suurimmat edut saavutettaisiin parantuneessa matkustusmukavuudessa sekä ajallisesti- ja alueellisesti kattavammassa liikennöinnissä. Robottibussit parantaisivat myös joukkoliikennematkan esteettömyyttä tarjoten saumattoman matkaketjun kotioven läheltä määränpäähän.

Päätutkimuskysymykseen tämä tutkimus vastasi luvussa 5 tarkastelemalla robottibussien kustannuksia ja mahdollisia toimintamalleja. Kustannusrakenteeltaan robottibussit ovat tavallisia busseja jopa 2,5-kertaisesti kustannustehokkaampia. Suurimmat säästöt saadaan bussiliikenteen yksikkökustannuksia tarkasteltaessa linjatuntiosalta, sillä robottibussien kuljettamattomuus mahdollistaa robottibussi-”fleettien” etävalvontajärjestelmän perustamisen, missä yksittäinen henkilö voisi valvoa useita busseja yhtäaikaaisesti. Myöhemmin teknologian luotettavuuden ja ratkaisukyvyn parantuessa valvottavien bussien määrää voitaisiin kasvattaa, pienentäen näin elinkaarikustannuksia entisestään. Kustannussäästöjä saadaan myös kilometrikustannuksissa täyssähköisen ja optimoidun ajamisen myötä. Vastaavasti kalustopäivän kustannuksia on vaikea arvioida tässä vaiheessa, mutta ensi alkuun robottibussien kalustokustannus tulee todennäköisesti olemaan tavallista dieselbussia korkeampi; kustannus laskenee kuitenkin huomattavasti pidemmällä aikavälillä.

Automaatio pikkubusseissa toisi alempien kustannusten lisäksi mahdollisuuden järjestää joukkoliikennettä uusilla tavoilla. Liikenteen automaatio -asiantuntijatyöpajassa lähitulevaisuuden toimintamalliksi ehdotettiin lisäarvopalvelu -mallia, jossa robottibussit toimisivat tavallisen joukkoliikenteen lisänä. Ensimmäisiä kaupallisia ratkaisuja voitaisiin

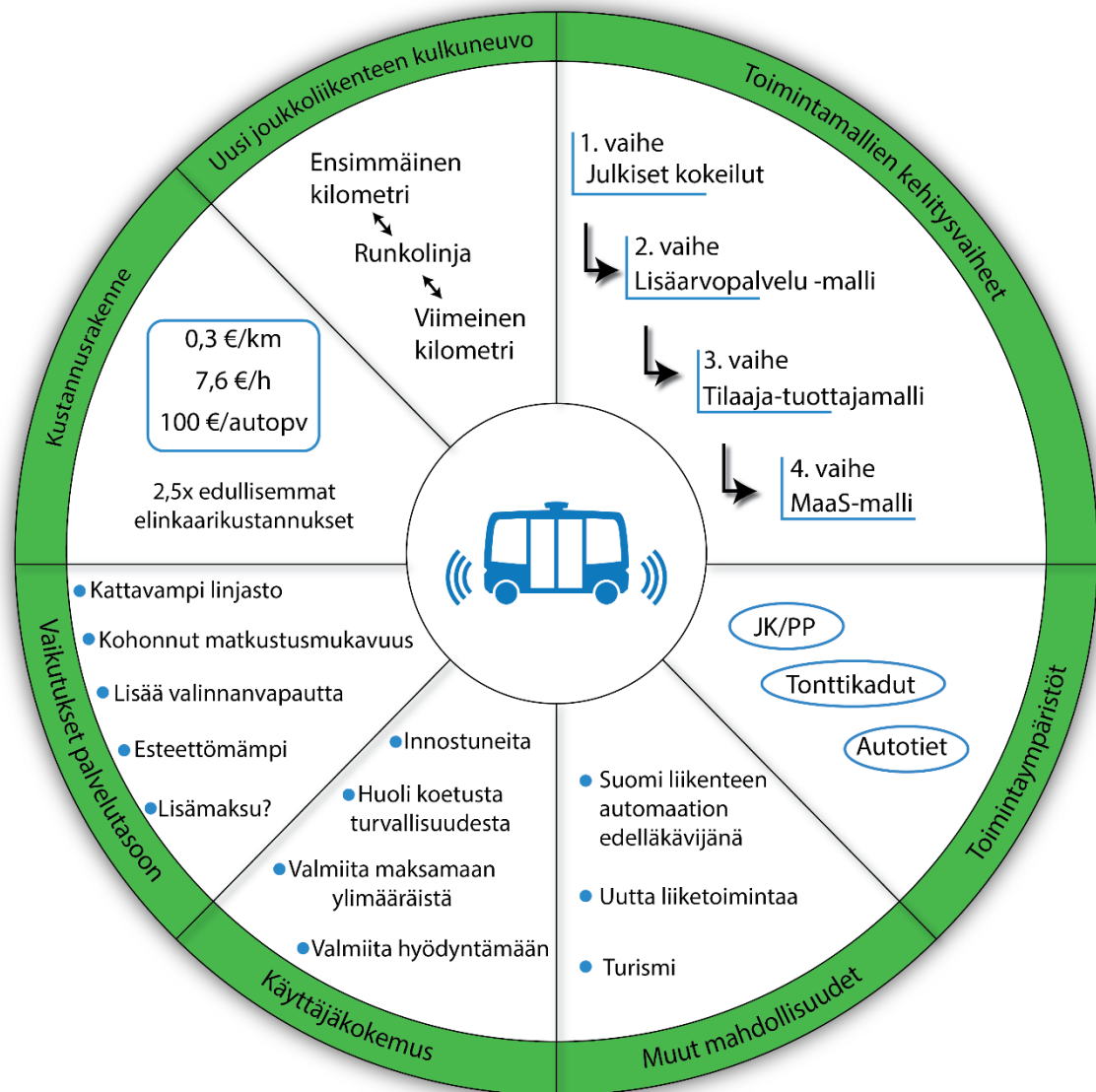
nähdä käytännössä esimerkiksi erilaisissa messutapahtumissa ja sairaala-alueilla. Näiden käyttökohteiden jälkeen robottibusseja voitaisiin ottaa käyttöön tilaaja-tuottajamallin mukaisesti niin, että toimivaltainen viranomainen korvaisi tai täydentäisi liityntälinjastojaan robottibusseilla. Esimerkiksi Tampereella Hervannan liityntäliikenteen järjestäminen osittain robottibusseilla vuonna 2021 on mahdollista. Alhaisten operointikustannusten myötä myös joukkoliikenteen palvelutasoa pystyttäisiin parantamaan huomattavasti tai vaihtoehtoisesti voitaisiin tähdätä kustannustehokkuuteen.

Kolmas käsitellyistä malleista oli Mobility as a Service -malli, jonka asiantuntijat näkivät erittäin potentiaalisena toimintamallina, joka voisi hieman kaukaisemmassa tulevaisuudessa toimia hyvin. Tällä hetkellä MaaS on kuitenkin vielä niin tuore käsite, että sen sisältöä ja toimintaperiaatteita ei tunneta tarpeeksi hyvin kattavien johtopäätösten tekemiseksi. Automaattiset bussit vaatisivat asiantuntijoiden mielestä korkean tason kutsuhajautuvuuden ollakseen tehokas osa MaaS:sia, mikä ei vielä lähivuosina ole mahdollista.

Käyttäjätutkimusten perusteella matkustajat ovat pääosin valmiita käyttämään automaattisia pikkubusseja liityntäliikenteessä. Robottibusseissa matkustaminen koettiin lähes yksimielisesti mukavaksi ja turvalliseksi, mutta läsnä olevalla operaattorilla on varmasti ollut suuri vaikutus koettuun turvallisuuteen. Mukavuuden lisäksi matkustajat haluavat busseihin lisäarvopalveluita, kuten langattoman mobiililaitteen latauksen tai reaaliaikaisen reittikartan. Matkustajat ovat myös valmiita maksamaan robottibusseista tavallisen joukkoliikennelipun lisäksi, mikäli sillä pääsisi lähelle kotiovea. Tämä alustava tieto maksuhalukkuudesta on mielenkiintoinen, sillä tämä motivoisi tuottamaan myös yksityisiä liikennepalveluita robottibussien ympärille. Kuvassa 33 on vielä havainnollistettu opinnäytetyön kokonaisuutta ja keskeisimpiä tuloksia.

Robottibusseihin liittyy vielä kuitenkin lukuisia haasteita, jotka tulee ratkaista ennen kaupallista käyttöä. Suurimmat haasteet liittyvät sensoriteknologian ympärivuotiseen käyttöön, sillä nykytilassaan pelkät LiDAR-sensorit eivät riitä, mikäli ilmassa on tarpeeksi suuria partikkeleita. Toimiakseen moitteetta, tulevat robottibussit muun automaattisen liikenteen tapaan tarvitsemaan sensorifuusiota, jossa useat eri teknologioihin perustuvat järjestelmät toimivat yhteistyössä tulkitakseen liikennetilanteita oikein. Sensoriteknologioiden ohella langattomien teknologioiden latenssin ja signaalin varmuuden tulee kehittyä, jotta kyydissä oleva operaattori voidaan siirtää etäkeskukseen valvomaan useita busseja

yhtäaikaaisesti. Etävalvonta tulee yhdessä kutsuohjautuvuuden kanssa vaatimaan julkisen liikenteen kokeiluja ennen järjestelmän kaupallistumista.



**Kuva 33.** Koonti opinnäytetyön keskeisimmistä tuloksista.

Kokonaisuudessaan robottibussit tuovat mukanaan täysin uudenlaisia liiketoimintamahdollisuuksia sekä mahdollisuuksia luoda entistäkin integroidumpi, kattavampi ja valinnanvapauteen perustuva joukkoliikennejärjestelmä. Tässä työssä todetut positiiviset vaikutukset synnyttävät toivottavasti uusia pilottiprojekteja SOHJOA-projektin rinnalle. Liikenteen automaation testauksessa Suomella on nyt ainutlaatuinen mahdollisuus saada vahva jalansija uusien liikennepalveluiden markkinoilla ja toimia suunnan näyttäjänä muille valtioille. Tämän diplomityön tulokset edesauttavat toivottavasti tätä kehitystä.

## 6.2 Tutkimuksen arviointi

Tutkimus vastasi asetettuihin tutkimuskysymyksiin hyvin. Pääkysymykseen saatiin vastaus case-tutkimuksen avulla tarkastelemalla Hervannan yhtä liityntälinjaa. Vastaavasti alakysymyksiin vastaukset saatiin tarkastelemalla pilotin kokeilualueita sekä tekemällä survey-tutkimus robottibussien käyttäjille.

Tutkimuksen tulokset perustuvat valtaosiltaan kolmesta kokeilualueista saatuihin kokemuksiin. Kokeilut itsessään eivät vastanneet vielä täysin aitoa käyttötarkoitusta ja ope-  
rinti tapahtui lähes avoimessa ympäristössä. Tästä johtuen tutkimuksessa jouduttiin tekemään johtopäätöksiä ja ennustuksia peilaten saatuihin kokemuksiin sekä projektin henkilökunnan haastatteluihin. Tämä alentaa tiedon oikeellisuutta hieman, mutta tästä huolimatta tutkimus tarjoaa laaja-alaisesti perustietoja päätöksentekoa ja jatkopilotteja varten, mikä on äärimmäiseen tärkeää liikenteen automaatiota kehitettäessä. Tutkimusta on tehtävä jatkuvasti liikenteen automaation kokeilujen aikana, jotta seuraavilla tekijöillä olisi tietoa mistä lähteä liikkeelle.

Hervannan käyttäjäkyselyt perustuivat pieneen otokseen, mikä heikentää kyselyn luotettavuutta. Itse kyselyn koettiin kuitenkin onnistuneen hyvin ja sen avulla saatiin kartoitettua robottibussien käyttäjiltä juuri niitä asioita mitä haluttiin. Busseissa olleiden ihmisten vapaamuotoinen haastattelu ja operaattorien säännöllinen haastattelu täydensivät pientä otosjoukkoa hyvin, mikä osaltaan parantaa havaintojen luotettavuutta.

Robottibussien kustannusrakennetta tarkasteltaessa todettiin robottipikkubusseilla olevan merkittävä kustannuksellinen etu tavallisiin pikkubusseihin verrattuna. Tutkimuksen tulokset ovat vain suuntaa antavia, mutta case-linjan hyödyntäminen kustannusten arvioinnissa antaa realistisen esimerkin säästöpotentiaalista. Luvussa viisi tehdyllä herkkyyssanalyysillä todistettiin, että robottibussien kustannusten noustessa huomattavasti kaikissa yksikkökustannuskategorioissa, olisivat nämä silti erittäin kustannustehokkaita. Erityisesti robottibussien infrastruktuurin kustannuksiin liittyy useita eri tekijöitä, jotka otettiin tässä työssä huomioon mahdollisimman hyvin.

Robottibusseilla on tutkimuksen tuloksena aito potentiaali olla tehokas osa joukkoliikenteen liityntäliikennettä ja erityisesti vaihtoehto viimeiselle ja ensimmäiselle kilometrille. Tällaisten kulkuneuvojen jatkokehitys ja kokeilut ovat keskeinen osa EU:n ja Suomen hallituksen liikennepoliittista strategiaa (European Commission 2016, s. 2 & Liikenne- ja viestintäministeriö 2015), ja teemaa laaja-alaisesti kartoittavat tutkimukset ovat jatkossakin tarpeellisia.

Tarkasteltaessa kriittisesti työssä hyödynnettyjä tutkimusmenetelmiä, voidaan todeta, että työssä olisi voitu hyödyntää enemmän benchmarkingia ulkomaalaisista robottibussipiloteista. Vastaavanlaisia kokeiluja toteuttaneisiin tahoihin olisi voitu olla yhteydessä ja selvittää heiltä alustavia kokemuksia ja tutkimustuloksia. Ongelmana tässä oli kuitenkin se,

että monet ulkomaalaisista kokeiluista toteutettiin samanaikaisesti SOHJOA-projektin kanssa, minkä myötä tutkimusdataa ei ole ollut toistaiseksi saatavilla. Työssä olisi voitu myös haastatella useampia automaattisen liikenteen osaaajia. Esimerkiksi CityMobil2-kokeilukaupunkien vastaavilta tahoilta olisi voitu selvittää heidän näkemyksiään automaattista pikkubusseista.

### 6.3 Jatkotutkimuskohteet

SOHJOA-projektin kokeilujen ja tämän työn tutkimustulosten perusteella robottibusseihin liittyen on tunnistettu jatkotutkimuskohteita. Erityisesti robottibussien käyttöympäristöistä jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden ympäristön positiivisia ja negatiivisia vaikutuksia tulee tarkastella tarkemmin. Toimiakseen mahdollisimman tehokkaasti tulisi robottibussien kyetä hyödyntämään koko liikenneverkkoa, mikä vaatisi operointia sekä kävelijöiden että pyöräilijöiden ympäristöistä autoympäristöihin. Toisesta näkökulmasta tarkasteltuna robottibussien vaikutuksia maankäyttöön olisi syytä tarkastella, sillä tulevaisuudessa uusia kaupunginosia suunniteltaessa – tai tehdessä vanhoista autottomia – voidaan muodostaa pelkästään automaattisille ajoneuvoille tarkoitettuja väyliä. Tämä luo uusia mahdollisuuksia muokata maankäyttöä, jos ajoneuvot eivät esimerkiksi tarvitsisi yhtä paljon tilaa.

Mikäli robottibusseja halutaan tulevaisuudessa käyttää muun liikenteen seassa, on tarpeellista tutkia niiden vaikutuksia liikenneturvallisuuteen sekä liikennevirtoihin. Liikenneturvallisuuteen liittyen on erityisesti tarkasteltava, miten muut väylän käyttäjät reagoivat busseihin ja kuinka käyttäytyminen muuttuu pidemmällä aikavälillä. Ajonopeuksia kasvatettaessa on myös tarpeellista selvittää bussien runkoratkaisuja sekä istuinjärjestelyjä, sillä robottibussit tulevat olemaan muun liikenteen seassa tekemisissä lukuisten dynaamisten muuttujien kanssa. Jos robottibusseja ei koeta riittävän turvallisiksi, on syytä löytää käyttökohteita, jossa liikenneturvallisuusriskit on minimoitu. Nykyisillä nopeuksilla törmäysvaara on kuitenkin äärimmäisen pieni eikä kokeilujen aikana ole tapahtunut onnettomuuksia.

Liikenteen hiljalleen muuttuessa kohti palvelua tulee automaattisten ajoneuvojen kutsuohjautuvuus entistäkin keskeisemmäksi tekijäksi. Kuten robottibussien kustannuksia tarkasteltaessa huomattiin, on dynaamiseen kysyntään vastaaminen jopa välttämätöntä, jotta ruuhkahuipputuntien kysyntä voidaan täyttää mutta samalla tarjota mahdollisuus liikkua kattavasti muina aikoina. Jatkotutkimuksissa on siis syytä selvittää, voisivatko robottibussit toimia ruuhka-aikoina reittipohjaisesti ja matalamman kysynnän aikana kutsuperusteisesti. Alustavia tietoja kutsuohjautuvuuden toimivuudesta saadaan SOHJOA-projektin vuoden 2017 kokeiluista, mutta lisätutkimukselle on tästä huolimatta varmasti tarvetta.

Mahdolliset jatkotutkimuskohteet aihepiireittäin:

- *Automaattisten bussien kysyntäohjautuvuus (reittiliikenne vs. kutsuliikenne)*
- *Jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden ympäristössä liikennöinti automaattibussilla*
- *Automaattisten bussien vaikutukset maankäyttöön*
- *Koettu turvallisuus automaattisissa busseissa*
- *Automaattisten bussien vaikutukset liikennevirtoihin*
- *Automaattisten bussien businessmalli*



## LÄHDELUETTELO

Aloni, Y. (2016). Dynamic Scheduling for the Autonomous Public Transportation Era, Optibus.

Anderson, J.M., Kalra, N., Stanley, K.D., Sorensen, P., Samaras, C. & Oluwatola, O. A. (2016). Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers, RAND Corporation, Santa Monica, California.

Anttila, T. (2013). Mistä kustannukset syntyvät: joukkoliikenteen tuottamisen kustannusrakenne, HSL / HRT 15.1.2013.

CityMobil2 (2015). Vantaan demonstraatio- tiivistelmä, Seventh Framework Programme, Theme SST.2012.3.1-4..

Continental (2013). Mobility study 2013, Continental, The Future in Motion.

Copenhagen (2010). Copenhagen City of Cyclists, Bicycle Account 2010.

Cyclescheme (2017). Save money on a new bike and spread the cost, Cyclescheme, verkkosivu. Saatavissa (11.1.2017): <https://www.cyclescheme.co.uk/>.

Daddario, E. Q. & DeSimone, D. V. (1976). Automatic Train Control in Rail Rapid Transit, United States Congress, Office of Technology Assessment, NTIS order #PB-254738.

Daniels, R. & Mulley, C. (2011). Explaining walking distance to public transport: the dominance of public transport supply, World Symposium on Transport and Land Use Research.

Davies, A. (2015). Turns out the hardware in self-driving cars is pretty cheap, Wired, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 13.1.2017): <https://www.wired.com/2015/04/cost-of-sensors-autonomous-cars/>.

Dekoster, J. & Schollaert, U. (1999). Cycling: the way ahead for towns and cities, European Commission.

Easy Mile (2016). Technical specifications, Definition document (julkaisematon materiaali).

ERTRAC (2015). Automated Driving Roadmap, ERTRAC Task Force, "Connectivity and Automated Driving", version 5.0.

Espoon kaupunki (2016). Espoon liikennekatsaus, : Espoon kaupunki, kaupunkisuunnittelukeskus, liikennesuunnitteluyksikkö.

Etherington, D. & Kolodny, L. (2016). Google's self-driving car unit becomes Waymo, Techcrunch, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.1.2017): <https://techcrunch.com/2016/12/13/googles-self-driving-car-unit-spins-out-as-waymo/>.

European Commission (2016). Vähäpäästöistä liikkuvuutta koskeva eurooppalainen strategia, COM(2016) 501 final.

Finlex (2009). Joukkoliikennelaki, 13.11.2009/869.

Finlex (2016). Hallituksen esitys liikennekaareksi ja eräiksi siihen liittyviksi laeiksi, HE 161/2016 vp, s. 2.

Fountain, H. (2016). A Slow Ride Toward the Future of Public Transportation, The New York Times, verkkosivu. Saatavissa (4.11.2016): [http://www.nytimes.com/2016/11/08/science/finland-public-transportation-driverless-bus.html?\\_r=0](http://www.nytimes.com/2016/11/08/science/finland-public-transportation-driverless-bus.html?_r=0).

Fraedrich, E., Cyganski, R., Wolf, I. & Lenz, B. (2016). User Perspectives on Autonomous Driving, Arbeitsberichte, Heft 187, Geographisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin.

Gibbs, S. (2016). Self-driving buses take to roads alongside commuter traffic in Helsinki, The Guardian, verkkosivu. Saatavissa (18.9.2016): <https://www.theguardian.com/technology/2016/aug/18/self-driving-buses-helsinki>.

Hakala, P. (2016). Joukkoliikenneinsinööri, sähköpostiviesti 28.10.2016.

Haukka, A., Jokinen, E. & Yrjölä, S. (2016). Tampereen raitiotien toteutussuunnitelma, suunnitelmasselostus osalle 1: Hervanta-keskusta-Tays, Tampereen kaupunki, Kaupunkiympäristön kehittäminen julkaisuja 7/2016.

Heisler, Y. (2016). Tesla planning to make its Autopilot Software even more restrictive, BGR, 29.09.2016, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.10.2016): <http://bgr.com/2016/08/29/tesla-autopilot-software-update-safety-restrictions/>.

Helsingin kaupunki (2012). Hernesaaren osayleiskaava, Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston asemakaavaosasto, selostus 7.2.2012.

Helsingin kaupunki (2016). Helsinki alueittain 2015, Helsingin kaupunki, ISSN-L 2323-4539.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (2009). Tutki ja kirjoita, 15. uudistettu painos. Kariston Kirjapaino Oy, Hämeenlinna. ISBN 978-951-31-4836-2.

HSL (2011). Joukkoliikenteen yksikkökustannukset 2010, 22 / 26.9.2011.

HSL (2015). HLJ 2015, Joukkoliikennestrategia, Helsingin seudun joukkoliikenne 16/2014.

HSL (2016). 15.8. Espoon ja Kauniaisten bussilinjat, HSL.

Hänninen, J. (2016). Robottibussit pian liikkeelle – projektipäällikkö: Haluamme, että ihmiset pohtivat tarvitsevatko he enää omaa autoa, Yle, verkkosivu. Saatavissa (27.7.2016): <http://yle.fi/uutiset/3-9053200>.

iMobility Forum (2013). Roadmap: Automation in Road Transport, May 2013, Version 1.0.

Information (2016). Førerløse busser skal spare tid og penge, Information Denmark, Saatavissa (viitattu 08.09.2016): <https://www.information.dk/indland/2016/07/foererloese-busser-spare-tid-penge>.

JAMA (2016). On the road to automated driving, Japan Automobile Manufacturers Association, a JAMA overview.

Kalenoja H. & Tiikkaja H. (2013). Tampereen kaupunkiseudun ja Pirkanmaan liikennetutkimus 2012, Henkilöliikennetutkimus, Tampere.

Kelley Blue Book (2016). Future Autonomous Vehicle Driver Study, September 2016.

Korosec, K. (2015). Fortune, Volvo CEO: We will accept all liability when our cars are in autonomous mode, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.1.2017): <http://fortune.com/2015/10/07/volvo-liability-self-driving-cars/>.

Kottasova, I. (2016). Self-driving buses are roaming the streets of Helsinki, CNN, verkkosivu. Saatavissa (19.9.2016): <http://money.cnn.com/2016/08/18/technology/self-driving-bus-helsinki-finland/>.

Kyheröinen, T. (2016). Automaattiajamisen näkymät, Insinööritoimisto, Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Lakka, P. (2016). Haamukuskin kyydissä – Robottibussi kuljettaa suomalaisia jo parin vuoden päästä, Aamulehti, verkkosivu. Saatavissa (8.8.2016): <http://www.aamulehti.fi/kotimaa/haamukuskin-kyydissa-robottibussi-kuljettaa-suomalaisia-jo-parin-vuoden-paasta-23838271/>.

Lehmusjärvi, M. (2017). Käyttäjätutkimus, Vastausten purkaminen, Metropolia, PowerPoint esitys.

Lehtinen T. (2016). Espoo alueittain 2015: Indikaattorit alueittain, Espoon kaupunki, Raportteja Espoosta 1/2016.

Lehto, A. (2012). Joukkoliikenteen palvelutasomäärittelyä koskevan ohjeistuksen arviointi ja kehittäminen, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 31/2012, [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts\\_2012-31\\_joukkoliikenteen\\_palvelutasomaarittelya\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-31_joukkoliikenteen_palvelutasomaarittelya_web.pdf).

Liikenne- ja viestintäministeriö (2012). Selvitys linja-autoliikenteen järjestämistavoista. Työryhmän raportti, Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 12/2012, ss. 3-11.

Liikennevirasto (2013). Julkisen liikenteen sanasto, Liikenneviraston oppaita 04/2013.

Liikennevirasto (2017). Liikkuminen palveluna, Liikennevirasto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.01.2017): <http://www.liikennevirasto.fi/liikennejarjestelma/maas#.WH4aFFWLRpg>.

LVM (2015). Robotit maalla, merellä ja ilmassa, Liikenteen älykkään automaation edistämissuunnitelma, Liikenne- ja viestintäministeriö, Julkaisuja 7/2015.

LVM (2016). Liikennekaari hallitusohjelmaa toteuttamassa, Faktalehti 11/2016.

McDonald, M. & Piao, J. (2016). CityMobil2: What Have We learned from the Evaluation So Far, TRG, Southampton University, UK, PowerPoint Presentation.

Metropolia (2016). Metropolia tuo robottibussit Suomen kaduille, Mediatiedote 14.07.2016.

Metsäranta, H., Pesonen, H. , & Sandberg, H. (2007). Joukkoliikenteen vaikutusten arviointi. Yleisohje, Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja, 50/2007.

Moyer, E. (2016). Self-driving buses roll onto Helsinki's roads, CNET, verkkosivu. Saatavissa (17.9.2016): <https://www.cnet.com/news/self-driving-buses-roll-onto-helsinkis-roads/>.

NHTSA (2013). Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles, National Highway Traffic Safety Administration, 14-13.

nuTonomy (2016). We're the start-up tackling the most difficult challenge in self-driving cars: urban driving, nuTonomy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.12.2016): <http://nu-tonomy.com/index.html#wrapper>.

OpenStreetMap (2016). OpenStreetMap, Saatavissa: <https://www.openstreetmap.org>.

Periviita, M. (2016). Joukkoliikenteen talous, TLO-25030 Joukkoliikennejärjestelmät, 12.4.2016, luento.

Pesonen, H., Moilanen, P., Tervonen, J. & Weiste, H. (2006). Joukkoliikenteen palvelutasotekijöiden arvottaminen, Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja, 36/2006.

PostBus (2016). Project SmartShuttle, Shape the mobility of the future, PostBus Switzerland Ltd, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 08.09.2016): <https://www.postauto.ch/en/smartshuttle>.

RAC (2016). RAC Intellibus, RAC For the better, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 08.09.2016): <http://intellibus.rac.com.au/>.

SAE (). Automated driving, The International Society of Automotive Engineers, Standard J3016.

Santamala, H. (2016). Projektipäällikkö, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Puhelinhaastattelu 21.12.2016.

Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill, A. (2009). Research methods for business students, 5. Painos. Pearson Education Limited, Harlow. 614 s. ISBN: 978-0-273-72686-0.

Sippola, J. (2016). Robottiautot tulevat kohta Helsingin kaduille ja ajavat näkymättömillä raiteilla – näin bussit toimivat, Helsingin Sanomat, verkkosivu. Saatavissa (13.9.2016): <http://www.hs.fi/autot/a1470971853425>.

Sohjoa (2017). Suomen Olosuhteet Huomioiva Joukkoliikenteen Omatoiminen Ajo-neuvo, Sohjoa, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.1.2017): [sohjoa.fi](http://sohjoa.fi).

Tampereen kaupunki (2014). Tampereen raitiotie, yleissuunnitelma, Tampereen kaupunki.

Tampereen kaupunki (2014). Tampereen väestö 31.12.2014, Tampereen kaupunki, Julkaisuja/Tilastot 2015.

Tampereen seudun joukkoliikenne (2016). Päätöksenteko, Nysse, Tampereen seudun joukkoliikenne, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.11.2016): <http://joukkoliikenne.tampere.fi/ohjeita-ja-tietoa/paatöksenteko.html>.

Trafi (2015). Automaation lisääntymisen vaikutukset tieliikenteessä, Trafin tutkimuksia 01/2015.

Tuominen, V-M. (2013). Tampereen raitiotieliikennetarkaisut, Pirkanmaan ympäristöohjelman 2. seurantaseminaari 11.6.2013.

Uber (2016). Pittsburgh, your Self-Driving Uber is arriving now, Uber, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.12.2016): <https://newsroom.uber.com/pittsburgh-self-driving-uber/>.

UITP (2013). Metro automation in 2013, Observatory of automated metros, World Atlas Report, 2013.

Valtioneuvosto (2016). Kansallinen energia- ja ilmastostrategia vuoteen 2030, Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030.

Wang, H. & Odoni, A. (2014). Approximating the Performance of a "Last Mile" Transportation System, Massachusetts Institute of Technology.

Velodyne LiDAR (2017). Puck Hi-Res, Product information.

Wepod (2016). The first autonomous vehicle on Dutch public roads, Wepods, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 08.09.2016): <http://wepods.com/>.

Verma, I. & Hätönen, J. (2010). Tulevaisuuden esteetön raideliikenne, Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu, Sosiaali- ja terveydenhuollon tekniikan ja rakentamisen instituutti Sotera, Arkkitehtuurin julkaisuja 11/2010.

Wibowo, S.S. & Olszewski, P. (2005). Modeling walking accessibility to public transport terminals: Case study of Singapore mass rapid transit. , Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies 6, pp. 147–156.

Virtanen, H. (2016). Toimitusjohtaja, Taksikuljetus Oy, sähköpostiviesti 2.1.2016.

WSP (2009). Turun seudun joukkoliikenne 2020, Raportti, WSP Finland Oy.

Wuttke, W. (2016). Lounge through the city., Mercedes Benz, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.12.2016): <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/next/automation/lounge-through-the-city/>.

Yeomans, G. (2014). Autonomous vehicles, Handing over control: opportunities and risks for insurance, Lloyd's, final report.

Zeit (2016). Bahn plant autonome Züge, Zeit Online, 09.06.2016, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.10.2016): <http://www.zeit.de/mobilitaet/2016-06/deutsche-bahn-autonomes-fahren-zug-lokfuehrer>.

Zmud, J., Sener, I. N. & Wagner, J. (2016). Consumer Acceptance and Travel Behavior Impacts of Automated Vehicles, Texas A&M Transportation Institute, PRC 15-49F.

## LIITE A: KYSELYLOMAKE

### Kyselytutkimus robottibusseista:

Robottibussit ovat yksi ratkaisuvaihtoehto viimeisen kilometrin taittamiseen raitiotieltä tai isommalta bussilinjalta kotiovelle ja päinvastoin. Seuraavana tiedustelemme lyhyesti, mitä mieltä olet robottibusseista ja mitä ajattelet tällaisesta palvelusta.

1. Ikäsi
 

<input type="checkbox"/> Alle 18	<input type="checkbox"/> 35-44	<input type="checkbox"/> 65-74
<input type="checkbox"/> 18-24	<input type="checkbox"/> 45-54	<input type="checkbox"/> yli 74
<input type="checkbox"/> 25-34	<input type="checkbox"/> 55-64	
2. Käytän joukkoliikennettä
 

<input type="checkbox"/> Pääasiallisena kulkumuotonani	<input type="checkbox"/> Harvoin
<input type="checkbox"/> Muutaman kerran viikossa	<input type="checkbox"/> En koskaan
<input type="checkbox"/> Muutaman kerran kuukaudessa	
3. Miten koit robottibussilla matkustamisen?
 

<input type="checkbox"/> Pelkäsin	<input type="checkbox"/> Suhtauduin bussiin positiivisesti
<input type="checkbox"/> Suhtauduin bussiin varauksella	<input type="checkbox"/> Olin innoissani
<input type="checkbox"/> Ei tuntemuksia	
4. Robottibussissa matkustaminen oli mukavaa / miellyttävää
 

<input type="checkbox"/> Kyllä	<input type="checkbox"/> Ei
--------------------------------	-----------------------------
5. Robottibussin nopeus oli
 

<input type="checkbox"/> Liian hidas	<input type="checkbox"/> Sopiva	<input type="checkbox"/> Liian nopea
--------------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------
6. Voisin kuvitella käyttäväni joukkoliikennettä enemmän, jos robottibussilla pääsisi osana joukkoliikennettä hyvin lähelle kotioveani.
 

<input type="checkbox"/> Kyllä	<input type="checkbox"/> Ei
--------------------------------	-----------------------------
7. Käyttäisin robottibussia (voit valita monta vaihtoehtoa):
 

<input type="checkbox"/> 50-200m matkalla	<input type="checkbox"/> 600-800m matkalla
<input type="checkbox"/> 200-400m matkalla	<input type="checkbox"/> 800m-1km matkalla
<input type="checkbox"/> 400-600m matkalla	<input type="checkbox"/> Yli 1km matkalla
8. Joukkoliikennelippu maksaa nykytilassaan 1,80€ arvolipulla. Olisin valmis maksamaan tämän arvolipun lisäksi mahdollisuudesta käyttää robottibussia
 

<input type="checkbox"/> 0,30 €	<input type="checkbox"/> 1,00 €
<input type="checkbox"/> 0,50 €	<input type="checkbox"/> 1,50 €
<input type="checkbox"/> 0,70 €	<input type="checkbox"/> En mitään
9. Valitse kaksi itsellesi mieluisinta maksutapaa robottibussia varten.
 

<input type="checkbox"/> Digitaalinen veloitus (automaattinen maksutapahtuma)	<input type="checkbox"/> Paperilippu
<input type="checkbox"/> Mobiilisovellus	<input type="checkbox"/> Käteinen
<input type="checkbox"/> Matkakortti	
10. Robottibussiin haluaisin seuraavat ominaisuudet (voit valita useita)
 

<input type="checkbox"/> Näyttötäulu bussin sisälle (aikataulutiedot, sijainti kartalla)
<input type="checkbox"/> Näyttötäulu, joka näkyy ulospäin (raitiotien aikataulut / liikennetiedotteita yms.)
<input type="checkbox"/> Äänellinen informaatio (kaiuttimista)
<input type="checkbox"/> Muu, mikä? _____
11. Vapaa sana robottibusseihin liittyen (voit kirjoittaa myös paperin toiselle puolelle)

---

## LIITE B: METROPOLIAN KÄYTTÄJÄTUTKIMUKSEN KYSYMYKSET

- *Käytättekö säännöllisesti joukkoliikennettä? Jos käytätte, niin missä kohtaa robottibussit palvelisivat teitä parhaiten?*
- *Oletteko jatkossa valmiita katsomaan matkan aikana äänellisiä mainoksia? (Jos ei, niin mitä, jos se tekisi matkustamisesta edullisempaa?)*
- *Mitä palveluita käytätte matkustamisen aikana?*
- *Mitkä palvelut mielestäsi puuttuu joukkoliikenteestä?*
- *Bussiliikenteessä on testattu tallentavaa videovalvontaa turvallisuuden parantamiseksi. Mitä mieltä olette tästä?*
- *Oletteko käyttäneet HSL:n kutsuplussia? Jos olette, niin mitä piditte siitä?*
- *Mitä mieltä olet henkilökohtaisten tietojen hyödyntämisestä joukkoliikenteen parantamiseen?*
- *Oletteko käyttänyt Smartpost palveluita? Jos olette, niin mitä pidätte siitä?*
- *Kuinka tarpeelliseksi koette ajoneuvon omistamisen? Voisiko sen korvata ovelle tilattavalla robottiautolla tai robottibussilla?*
- *Hälytysajoneuvoilla on omat tunnistettavat värit. Pitäisikö julkiset tai yksityiset robottiajoneuvot merkitä tietyllä värillä?*